

Semiconductor laser device and manufacturing method thereofPatent Number: US2002126723

Publication date: 2002-09-12

Inventor(s): OHKUBO NOBUHIRO (JP)

Applicant(s):

Requested Patent: JP2002204034

Application Number: US20010984000 20011026

Priority Number(s): JP20000331623 20001031; JP20010273071 20010910

IPC Classification: H01S5/00

EC Classification:

Equivalents:

Abstract

A semiconductor laser device has a quantum well active layer including a well layer and a barrier layer laminated on a semiconductor substrate. The quantum well active layer contains II group atoms such as Zn atoms. The quantum well active layer is so formed that a bandgap of the quantum well active layer in the vicinity of an end surface of a laser resonator is larger than a bandgap of the quantum well active layer inside the laser resonator. The II group atoms contained in the quantum well active layer inside the laser resonator make up for vacancies introduced therein so as to inhibit fluctuation of the bandgap of the quantum well active layer inside the laser resonator and thereby to enhance long-term reliability of the semiconductor laser device

Data supplied from the esp@cenet database - I2

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特願2002-204034
(P2002-204034A)

(43) 公開日 平成14年7月19日 (2002.7.19)

(51) Int.Cl.
H 01 S 5/343
H 01 L 21/205

識別記号

F I
H 01 S 5/343
H 01 L 21/205

テ-マコ-ト(参考)
5 F 0 4 5
5 F 0 7 3

審査請求 未請求 請求項の数16 OL (全 29 頁)

(21) 出願番号 特願2001-273071(P2001-273071)
(22) 出願日 平成13年9月10日 (2001.9.10)
(31) 優先権主張番号 特願2000-331623(P2000-331623)
(32) 優先日 平成12年10月31日 (2000.10.31)
(33) 優先権主張国 日本 (JP)

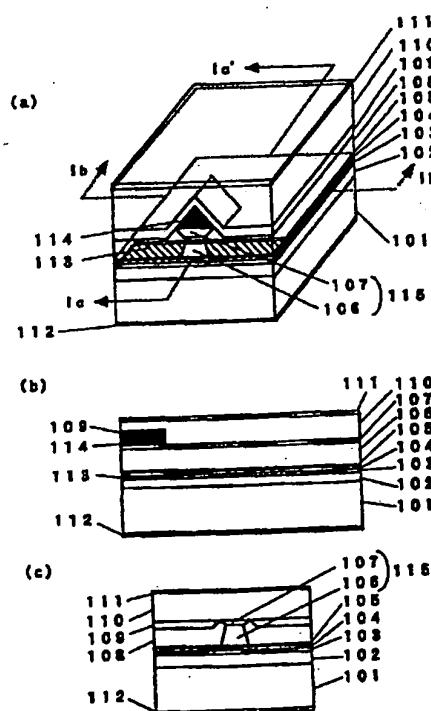
(71) 出願人 000005049
シャープ株式会社
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(72) 発明者 大久保 伸洋
大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シ
ャープ株式会社内
(74) 代理人 100062144
弁理士 青山 葵 (外1名)
Fターム(参考) 5F045 AA04 AB10 AB17 CA12 DA55
DA57 DA60 HA18
5F073 AA13 AA53 AA74 CA05 CA14
CB17 DA05 DA14 DA15 DA16
DA21 EA28

(54) 【発明の名称】 半導体レーザ素子及びその製造方法

(57) 【要約】

【課題】 レーザ共振器端面近傍の活性層領域では、C O Dが発生しやすいため、高出力駆動時の最大光出力の低下を引き起こし、十分な長期信頼性が得られない。

【解決手段】 半導体基板101の上方に積層した、ウエル層とバリア層とを含む量子井戸活性層103を備えると共に、共振器端面近傍領域の量子井戸活性層103のバンドギャップが、共振器内部領域の量子井戸活性層103のバンドギャップよりも大きくなされた半導体レーザ素子において、前記活性層103のウエル層とバリア層の各層にはII族原子が含まれてなることによって上記の課題を解決する。



(2)

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 半導体基板上方に積層されたウエル層とバリア層とを含む量子井戸活性層を備えると共に、光出射端面近傍領域における量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長が、内部領域における量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さい半導体レーザ素子において、前記量子井戸活性層のウエル層とバリア層の各層にはII族原子が含まれていることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項 2】 前記量子井戸活性層を挟む2層のクラッド層を備えると共に、

前記II族原子は、前記クラッド層に含まれた不純物原子と同一であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 3】 前記ウエル層に含まれるII族原子の不純物原子濃度は、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上且つ $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 4】 前記量子井戸活性層を挟む2層のクラッド層のうち、前記量子井戸活性層を前記半導体基板側から挟む第1のクラッド層には、Si原子が含まれていることを特徴とする請求項 2 乃至 3 の何れか一つに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 5】 前記量子井戸活性層を前記半導体基板側とは反対側から挟む第2のクラッド層は、前記II族原子を含んでいることを特徴とする請求項 4 に記載の半導体レーザ素子。

【請求項 6】 共振方向に延在して前記量子井戸活性層を前記半導体基板側とは反対側から挟む第2のクラッド層に形成されたリッジ状ストライプ構造を有すると共に、

前記リッジ状ストライプ構造の上方における光出射端面近傍領域には、選択的に電流非注入領域が形成されていることを特徴とする前記請求項 2 乃至 5 の何れか一つに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 7】 前記半導体基板はGaAsで構成され、該半導体基板上方には、少なくともAlGaAs系材料で構成された半導体層が積層されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れか一つに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 8】 前記半導体基板はGaAsで構成され、該半導体基板上方には、少なくともAlGaInP系材料で構成された半導体層が積層されていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の何れか一つに記載の半導体レーザ素子。

【請求項 9】 前記II族原子は、亜鉛原子、ベリリュウム原子およびマグネシウム原子の何れか一つであることを特徴とする請求項 1 乃至 8 の何れか一つに記載の半導体レーザ素子。

2

【請求項 10】 第1導電型の半導体基板上に、第1導電型クラッド層、II族原子を含むウエル層とバリア層とから成る量子井戸活性層および第2導電型クラッド層を含む積層構造物を成長させる工程と、

前記積層構造物上における光出射端面近傍領域に、選択的に誘電体膜を形成する工程と、

アニールによって、前記誘電体膜形成領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長を、誘電体膜非形成領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さくする工程を含むことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 11】 第1導電型の半導体基板上に、第1導電型クラッド層、ウエル層とバリア層とから成る量子井戸活性層およびII族原子を含む第2導電型クラッド層を含む積層構造物を成長させる工程と、

アニールによって、前記第2導電型クラッド層のII族原子を前記量子井戸活性層に拡散させる工程と、

前記積層構造物上における光出射端面近傍領域に、選択的に誘電体膜を形成する工程と、

アニールによって、前記誘電体膜形成領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長を、誘電体膜非形成領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さくする工程を含むことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 12】 第1導電型の半導体基板上に、第1導電型クラッド層、II族原子を含むウエル層とバリア層とから成る量子井戸活性層および第2導電型クラッド層を含む積層構造物を成長させる工程と、

前記積層構造物における光出射端面近傍領域に、イオン化された原子を選択的に照射する工程と、

アニールによって、前記イオン化原子照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長を、イオン化原子非照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さくする工程を含むことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 13】 第1導電型の半導体基板上に、第1導電型クラッド層、ウエル層とバリア層とから成る量子井戸活性層およびII族原子を含む第2導電型クラッド層を含む積層構造物を成長させる工程と、

アニールによって、前記第2導電型クラッド層のII族原子を前記量子井戸活性層に拡散させる工程と、

前記積層構造物における光出射端面近傍領域に、イオン化された原子を選択的に照射する工程と、

アニールによって、前記イオン化原子照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長を、イオン化原子非照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さくする工程を含むことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 14】 第1導電型の半導体基板上に、第1導電型クラッド層、ウエル層とバリア層とから成る量子井戸活性層およびII族原子を含む第2導電型クラッド層を含む積層構造物を成長させる工程と、

アニールによって、前記第2導電型クラッド層のII族原子を前記量子井戸活性層に拡散させる工程と、

前記積層構造物における光出射端面近傍領域に、イオン化された原子を選択的に照射する工程と、

アニールによって、前記イオン化原子照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長を、イオン化原子非照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さくする工程を含むことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項 15】 前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長を、イオン化原子非照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さくする工程を含むことを特徴とする半導体レーザ素子。

(3)

3

ーク波長よりも小さくする工程を含むことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項14】前記積層構造物における光出射端面近傍領域に前記イオン化された原子を選択的に照射する際に、マスクとして誘電体膜を用いることを特徴とする請求項12または13に記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項15】前記イオン化される原子は、アルゴン、酸素、窒素のうちの少なくとも1つであることを特徴とする請求項12乃至14の何れか一つに記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項16】前記II族原子は、亜鉛原子、ベリリュウム原子およびマグネシウム原子の何れか一つであることを特徴とする請求項10乃至15の何れか一つに記載の半導体レーザ素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光ディスク用などに用いられる半導体レーザ素子及びその製造方法に関するものであり、特に高出力動作の特性に優れた窓構造半導体レーザ素子及びその製造方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】近年、光ディスク装置用光源として、各種の半導体レーザが広汎に利用されている。とりわけ、高出力半導体レーザは、MDプレーヤ、CD-Rドライブ等のディスクへの書き込み用光源として用いられており、さらなる高出力化が強く求められている。

【0003】半導体レーザの高出力化を制限している要因の一つは、前記光出射端面近傍としてのレーザ共振器端面近傍の活性層領域での光出力密度の増加に伴い発生する光学損傷 (COD; Catastrophic Optical Damage) である。

【0004】前記CODの発生原因は、レーザ共振器端面近傍の活性層領域がレーザ光に対する吸収領域になっているためである。レーザ共振器端面では、表面準位または界面準位といわれる非発光再結合中心が多く存在する。レーザ共振器端面近傍の活性層に注入されたキャリアはこの非発光再結合によって失われる所以、レーザ共振器端面近傍の活性層の注入キャリア密度は中央部に比べて少ない。その結果、中央部の高い注入キャリア密度によって作られるレーザ光の波長に対して、レーザ共振器端面近傍の活性層領域は吸収領域になる。

【0005】光出力密度が高くなると吸収領域での局所的発熱が大きくなり、温度が上がってバンドギャップエネルギーが縮小する。その結果、更に吸収係数が大きくなつて温度上昇するという正帰還がかかり、レーザ共振器端面近傍の吸収領域の温度はついに融点にまで達し、CODが発生する。

【0006】前記CODレベルの向上のために、半導体レーザの高出力化の一つの方法として、特開平9-23

(4)

4

037号公報に記載されている多重量子井戸構造活性層の無秩序化による窓構造を利用する手法がとられてきた。

【0007】この窓構造を有する半導体レーザの従来技術として、特開平9-23037号公報に記載されている半導体レーザ素子の構造図を図12に示す。

【0008】図12において、(a)はレーザ共振器端面を含む斜視図、(b)は図(a)のIa-Ia'線における導波路の断面図、(c)は図(a)のIb-Ib'線における層厚方向の断面図である。図12において、1001はGaAs基板、1002はn型AlGaAs下クラッド層、1003は量子井戸活性層、1004aはp型AlGaAs第1上クラッド層、1004bはp型AlGaAs第2上クラッド層、1005はp型GaAsコンタクト層、1006(斜線部)は空孔拡散領域、1007(斜線部)はプロトン注入領域、1008はn側電極、1009はp側電極、1020はレーザ共振器端面、1003aは量子井戸活性層1003のレーザ発振に寄与する領域、1003bは量子井戸活性層1003のレーザ共振器端面1020近傍に形成された窓構造領域である。

【0009】次に従来の半導体レーザ素子の製造方法を図13に示す工程図を参照して説明する。

【0010】n型GaAs基板1001上にn型AlGaAs下クラッド層1002、量子井戸活性層1003、p型AlGaAs第1上クラッド層1004aを順次エピタキシャル成長する(図13(a))。次にp型AlGaAs第1上クラッド層1004a表面上にSiO₂膜1010を形成し、レーザ共振器端面に達しない長さで、レーザ共振器方向に伸びるストライプ状の開口部1010aを形成する(図13(b))。次にこのウエハをAs雰囲気下、800℃以上の温度でアニールすると、SiO₂膜1010が接するp型AlGaAs第1上クラッド層1004a表面からGa原子を吸い上げ、p型AlGaAs第1上クラッド層1004a中にGa空孔が生成し、この空孔が結晶内部の量子井戸活性層1003に達するまで拡散し、量子井戸構造を無秩序化させる。無秩序化した活性層領域では実効的な禁制帯幅が広がるため、発振レーザ光に対し透明な窓として機能する。

【0011】さらに、SiO₂膜1010を除去し、p型AlGaAs第1上クラッド層1004a上にp型AlGaAs第2上クラッド層1004b、p型GaAsコンタクト層1005を順次エピタキシャル成長させる(図13(c))。次にp型GaAsコンタクト層1005上にレジスト膜を形成し、フォトリソグラフィー技術によって前記SiO₂膜1010のストライプ状の開口部1010aと同じ領域にストライプ状のレジスト1011を形成する。次にこのストライプ状のレジスト1011をマスクとしてp型GaAsコンタクト層100

(4)

5

5の表面側からプロトン注入を行い、電流ブロック層となる高抵抗領域1007を形成する。(図13)

(d)。最後にGaN基板1001側にn側電極1008、p型GaNコンタクト層1005上にp側電極1009を形成し、ウエハをべき開して図12の半導体レーザ素子を得る。

【0012】

【発明が解決しようとする課題】従来の窓構造半導体レーザ素子では、レーザ共振器端面近傍に形成された無秩序化領域において、レーザ発振波長に相当するバンドギャップエネルギーよりも大きくなるように、p型AlGaN第1上クラッド層1004a表面上にSiO₂膜1010を形成し、前記SiO₂膜1010が接するp型AlGaN第1上クラッド層1004aへのGaN空孔の生成、及び、量子井戸活性層1003へのGaN空孔の拡散を行っている。

【0013】前記GaN空孔の生成および拡散は、SiO₂膜1010で覆われている領域で発生しているのが、800°C以上でのアニールを行うと、SiO₂膜1010で覆われていない領域(レーザ共振器内部領域)の最表面において、GaN原子の再蒸発によるGaN空孔が少量ではあるが生成され、量子井戸活性層1003へGaN空孔が拡散する。

【0014】その結果、レーザ共振器内部領域での量子井戸活性層のバンドギャップの変動、及び、量子井戸活性層の結晶性劣化による長期信頼性の低下を招いてしまう。また、アニール温度を低くするか、或いは、アニール時間を短くすれば、レーザ共振器内部領域下での量子井戸活性層1003へのGaN空孔の拡散を抑制できるが、SiO₂膜1010で覆われている領域下での空孔原子の生成、及び、SiO₂膜1010で覆われている領域下での量子井戸活性層1003への空孔原子の拡散が不十分となり、レーザ共振器端面近傍領域においてレーザ光を吸収してしまう。

【0015】その結果、レーザ共振器端面近傍の活性層領域でCODが発生しやすくなり、高出力駆動時の最大光出力の低下を引き起こし、十分な長期信頼性が得られない。

【0016】そこで、この発明の目的は、レーザ共振器内部領域での活性層のバンドギャップの変動を抑制し、且つ、長期信頼性に優れた半導体レーザ素子及びその製造方法を提供することにある。

【0017】

【課題を解決するための手段】前記目的を達成するため、第1の発明は、半導体基板上方に積層されたウエル層とバリア層とを含む量子井戸活性層を備えると共に、光出射端面近傍領域における量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長が、内部領域における量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さい半導体レーザ素子において、前記量子

6

井戸活性層のウエル層とバリア層の各層にはII族原子が含まれていることを特徴としている。

【0018】前記構成によれば、光出射端面近傍領域における量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長は、内部領域における量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さくなっている。このことは、前記光出射端面近傍領域における量子井戸活性層のバンドギャップは、内部領域における量子井戸活性層のバンドギャップよりも大きいと言え

10 る。

【0019】ところで、上述のような前記光出射端面近傍領域におけるバンドギャップの向上は、例えば、SiO₂が形成されたクラッド層での空孔原子の生成及び量子井戸活性層への拡散によって行われるのであるが、アニール等によって、SiO₂が形成されていない内部領域のクラッド層表面にも空孔原子が少量ではあるが生成される。そして、この空孔原子が内部領域における量子井戸活性層へ拡散することになる。ところが、前記量子井戸活性層のウエル層とバリア層の各層にはII族原子が含まれている。したがって、内部領域における量子井戸活性層へ空孔原子が拡散しても、量子井戸活性層内に存在するII族原子と補完し合い、前記内部領域における量子井戸活性層のバンドギャップの変動が抑制され、且つ、結晶性の劣化が抑制されるのである。

【0020】これに対して、前記光出射端面近傍領域におけるクラッド層においては、SiO₂が形成されているためII族原子と補完し合う以上の空孔原子が生成される。従って、量子井戸活性層へ拡散した空孔原子によって前記量子井戸活性層が無秩序化されるのである。したがって、量子井戸活性層ではバンドギャップが大きくなり、レーザ光の吸収が無い窓領域が形成される。したがって、前記光出射端面近傍領域における量子井戸活性層でのCODが抑制されるのである。

【0021】また、1実施例では、前記第1の発明の半導体レーザ素子において、前記量子井戸活性層を挟む2層のクラッド層を備えると共に、前記II族原子は前記クラッド層に含まれた不純物原子と同一としている。

【0022】前記量子井戸活性層のウエル層とバリア層の各層に含まれるII族原子は、アニール等によって、前記量子井戸活性層を挟むクラッド層からの拡散によって供給することが可能になる。

【0023】また、1実施例では、前記第1の発明の半導体レーザ素子において、前記ウエル層に含まれるII族原子の濃度は、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上且つ $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下である。

【0024】この実施例によれば、前記ウエル層のII族原子の濃度は、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上且つ $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下であるので、II族原子の拡散によるp-n接合位置の半導体基板側に在るクラッド層側への移動が阻止される。その結果、前記量子井戸活性層からのキャリア

50

(5)

7

のオーバーフローが抑制され、高出力時の駆動電流が低減された半導体レーザ素子が得られる。

【0025】また、1実施例では、前記第1の発明の半導体レーザ素子において、前記量子井戸活性層を挟む2層のクラッド層のうち、前記量子井戸活性層を前記半導体基板側から挟む第1のクラッド層にはSi原子が含まれている。

【0026】この実施例によれば、前記量子井戸活性層を前記半導体基板側から挟む第1のクラッド層にはSi原子が含まれているので、III族原子位置に存在しやすいII族原子が前記第1のクラッド層側へ拡散することが抑制される。したがって、高出力時の駆動電流が低減されて、高出力駆動における長期信頼性に優れた半導体レーザ素子が得られる。

【0027】また、1実施例では、前記第1の発明の半導体レーザ素子において、前記量子井戸活性層を前記半導体基板側とは反対側から挟む第2のクラッド層は、前記II族原子を含んでいる。

【0028】また、1実施例では、前記第1の発明の半導体レーザ素子において、共振方向に延在して前記量子井戸活性層を前記半導体基板側とは反対側から挟む第2のクラッド層に形成されたリッジ状ストライプ構造を有すると共に、前記リッジ状ストライプ構造の上方には、選択的に電流非注入領域が形成されている。

【0029】この実施例によれば、前記第2のクラッド層に形成されたリッジ状ストライプ構造の上方における光出射端面近傍領域には、選択的に電流非注入領域が形成されているので、前記内部領域における量子井戸活性層よりもフォトoluminescence発光光のピーク波長が小さい前記光出射端面近傍領域における量子井戸活性層で成る窓領域への電流注入が防がれ、窓領域の空孔欠陥の存在によるキャリア損失が抑えられ、発光に寄与しない無効電流が低減される。したがって、高出力時の駆動電流が低減され、高出力駆動における長期信頼性に優れた半導体レーザ素子が得られる。

【0030】また、1実施例では、前記第1の発明の半導体レーザ素子において、前記半導体基板はGaAsで構成され、該半導体基板上方には、少なくともAlGaAs系材料で構成された半導体層が積層されている。

【0031】また、1実施例では、前記第1の発明の半導体レーザ素子において、前記半導体基板はGaAsで構成され、該半導体基板上方には、少なくともAlGaInP系材料で構成された半導体層が積層されている。

【0032】また、1実施例では、前記第1の発明の半導体レーザ素子において、前記II族原子は、亜鉛原子、ベリリュウム原子およびマグネシウム原子の何れか一つである。

【0033】この実施例によれば、前記II族原子として、亜鉛原子、ベリリュウム原子およびマグネシウム原子の何れか一つが用いられて、前記内部領域に生成され

8

て量子井戸活性層へ拡散する空孔原子と前記II族原子との補完が効果的に行われる。

【0034】また、第2の発明の半導体レーザ素子の製造方法は、第1導電型の半導体基板上に、第1導電型クラッド層、II族原子を含むウエル層とバリア層とから成る量子井戸活性層および第2導電型クラッド層を含む積層構造物を成長させる工程と、前記積層構造物上における光出射端面近傍領域に選択的に誘電体膜を形成する工程と、アニールによって、前記誘電体膜形成領域下方における前記量子井戸活性層のフォトoluminescence発光光のピーク波長を、誘電体膜非形成領域下方における前記量子井戸活性層のフォトoluminescence発光光のピーク波長よりも小さくする工程を含むことを特徴としている。

【0035】前記構成によれば、第1導電型の半導体基板上に形成する積層構造物内の量子井戸活性層成長時に予めII族原子を添加して、量子井戸活性層にII族原子を含ませた後、前記積層構造物上における光出射端面近傍領域にのみ誘電体膜を被着させてアニールするので、前記誘電体膜直下における前記積層構造物表面から構成原子が誘電体膜中に吸上げられて前記積層構造物内部に空孔原子が生成され、前記空孔原子の量子井戸活性層への拡散が促進される。その結果、前記量子井戸活性層における光出射端面近傍領域のバンドギャップが内部領域のバンドギャップより大きくなる。

【0036】その際に、前記量子井戸活性層にはII族原子が含まれているので、アニールの際に前記内部領域における積層構造物の表面に少量生成されて量子井戸活性層へ拡散する空孔原子が前記II族原子と補完し合い、前記内部領域における量子井戸活性層のバンドギャップの変動が抑制される。さらに、前記アニール前の時点で前記量子井戸活性層にはII族原子が含まれているので量子井戸活性層近傍のII族原子の濃度勾配は小さく、そのため前記アニールによる量子井戸活性層へのII族原子の拡散が抑制される。したがって、前記内部領域の量子井戸活性層でのII族原子濃度の増加が抑制され、前記内部領域の量子井戸活性層の結晶性劣化が抑制可能になる。

【0037】さらに、上述のごとく前記アニールによる量子井戸活性層におけるII族原子濃度の増加がないため、前記アニールによる量子井戸活性層から第1導電型クラッド層側へのII族原子の拡散が抑制され、高出力駆動時における量子井戸活性層からのキャリアのオーバーフローが抑制される。

【0038】また、第3の発明の半導体レーザ素子の製造方法は、第1導電型の半導体基板上に、第1導電型クラッド層、ウエル層とバリア層とから成る量子井戸活性層およびII族原子を含む第2導電型クラッド層を含む積層構造物を成長させる工程と、アニールによって前記第2導電型クラッド層のII族原子を前記量子井戸活性層に拡散させる工程と、前記積層構造物上における光出射端

(6)

9

面近傍領域に選択的に誘電体膜を形成する工程と、アニールによって、前記誘電体膜形成領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長を、誘電体膜非形成領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さくする工程を含むことを特徴としている。

【0039】前記構成によれば、前記量子井戸活性層にII族原子を含ませる際、アニールによって前記第2導電型クラッド層のII族原子を前記量子井戸活性層に拡散させるので、選択的に誘電体膜を被着させた後に行われるアニールを含めて、2回のアニールが行われる。そのために、前記量子井戸活性層近傍領域でのII族原子分布が均一になり、且つ、前記アニールによる第1導電型クラッド層側へのII族原子の拡散が抑制されて、高出力駆動時における量子井戸活性層からのキャリアのオーバーフローが抑制される。

【0040】さらに、前記光出射端面近傍領域に形成された誘電体膜直下の積層構造物表面から構成原子が誘電体膜中に吸上げられるため、前記積層構造物内部に空孔原子が生成され、前記空孔原子の量子井戸活性層への拡散が促進される。その際に、前記量子井戸活性層にはII族原子が含まれているので、アニールの際に前記内部領域における積層構造物の表面に少量生成されて量子井戸活性層へ拡散する空孔原子は前記II族原子と補完し合い、前記内部領域における量子井戸活性層のバンドギャップの変動が抑制される。

【0041】また、第4の発明の半導体レーザ素子の製造方法は、第1導電型の半導体基板上に、第1導電型クラッド層、II族原子を含むウェル層とバリア層とから成る量子井戸活性層および第2導電型クラッド層を含む積層構造物を成長させる工程と、前記積層構造物における光出射端面近傍領域にイオン化された原子を選択的に照射する工程と、アニールによって、前記イオン化原子照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長を、イオン化原子非照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さくする工程を含むことを特徴としている。

【0042】前記構成によれば、第1導電型の半導体基板上に形成する積層構造物内の量子井戸活性層成長時に予めII族原子を添加して、量子井戸活性層にII族原子を含ませた後、前記積層構造物上における光出射端面近傍領域にのみイオン化された原子を照射するので、前記イオン原子照射領域において積層構造物表面に空孔原子が生成され、アニールによって前記空孔原子の量子井戸活性層への拡散が促進される。したがって、前記量子井戸活性層における光出射端面近傍領域のバンドギャップが内部領域のバンドギャップより大きくなる。

【0043】その際に、前記量子井戸活性層にはII族原子が含まれているので、アニールの際に前記内部領域に

10

おける積層構造物の表面に少量生成されて量子井戸活性層へ拡散する空孔原子が前記II族原子と補完し合い、前記内部領域における量子井戸活性層のバンドギャップの変動が抑制される。さらに、前記アニール前の時点で前記量子井戸活性層にはII族原子が含まれているので量子井戸活性層近傍のII族原子の濃度勾配は小さく、そのため前記アニールによる量子井戸活性層へのII族原子の拡散が抑制される。したがって、前記内部領域の量子井戸活性層でのII族原子濃度の増加が抑制され、前記内部領域の量子井戸活性層の結晶性劣化が抑制可能になる。

【0044】さらに、上述のごとく前記アニールによる量子井戸活性層におけるII族原子濃度の増加がないため、前記アニールによる量子井戸活性層から第1導電型クラッド層側へのII族原子の拡散が抑制され、高出力駆動時における量子井戸活性層からのキャリアのオーバーフローが抑制される。

【0045】また、第5の発明の半導体レーザ素子の製造方法は、第1導電型の半導体基板上に、第1導電型クラッド層、ウェル層とバリア層とから成る量子井戸活性層およびII族原子を含む第2導電型クラッド層を含む積層構造物を成長させる工程と、アニールによって前記第2導電型クラッド層のII族原子を前記量子井戸活性層に拡散させる工程と、前記積層構造物における光出射端面近傍領域にイオン化された原子を選択的に照射する工程と、アニールによって、前記イオン化原子照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長を、イオン化原子非照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さくする工程を含むことを特徴としている。

【0046】前記構成によれば、前記量子井戸活性層にII族原子を含ませる際、アニールによって前記第2導電型クラッド層のII族原子を前記量子井戸活性層に拡散させるので、イオン化された原子を選択的に照射した後に行われるアニールを含めて、2回のアニールが行われる。そのために、前記量子井戸活性層近傍領域でのII族原子分布が均一になり、且つ、前記アニールによる第1導電型クラッド層側へのII族原子の拡散が抑制されて、高出力駆動時における量子井戸活性層からのキャリアのオーバーフローが抑制される。

【0047】さらに、前記積層構造物上における光出射端面近傍領域にイオン照射を行うことによって積層構造物表面に空孔原子が生成され、アニールによって前記空孔原子の量子井戸活性層への拡散が促進される。その際に、前記量子井戸活性層にはII族原子が含まれているので、前記アニールの際に前記内部領域における積層構造物の表面に少量生成されて量子井戸活性層へ拡散する空孔原子は前記II族原子と補完し合い、前記内部領域における量子井戸活性層のバンドギャップの変動が抑制され

50

(7)

11

【0048】また、1実施例では、前記第4または5の発明の半導体レーザ素子の製造方法において、前記積層構造物における光出射端面近傍領域に前記イオン化された原子を選択的に照射する際に、マスクとして誘電体膜を用いる。

【0049】前記構成によれば、前記イオン化された原子を照射する際のマスクとして誘電体膜を用いることによって、レジストを用いる場合よりも駆動電圧の低電圧化が実現される。

【0050】また、1実施例では、前記第4または5の発明の半導体レーザ素子の製造方法において、前記イオン化される原子は、アルゴン、酸素、窒素のうちの少なくとも1つである。

【0051】前記構成によれば、前記光出射端面近傍領域における積層構造物表面に空孔原子が効果的に生成され、前記アニールによる量子井戸活性層への拡散が促進される。その結果、前記量子井戸活性層における光出射端面近傍領域の無秩序化がより促進される。

【0052】また、1実施例では、前記第2乃至5の何れか一つの発明の半導体レーザ素子の製造方法において、前記II族原子は、亜鉛原子、ベリリュウム原子およびマグネシウム原子の何れか一つである。

【0053】この実施例によれば、前記II族原子として、亜鉛原子、ベリリュウム原子およびマグネシウム原子の何れか一つが用いられて、前記内部領域のクラッド層に生成されて量子井戸活性層へ拡散する空孔原子と前記II族原子と間の補完が効果的に行われる。

【0054】本発明に適した半導体レーザ素子としては、量子井戸活性層を有することが前提であるが、この量子井戸活性層とクラッド層との間に、光ガイド層がある方が好ましい。これは、以下の理由による。そして、光ガイド層を設ける場合には、前記光ガイド層を、本願発明における量子井戸活性層の一部として見なせば良いのである。

【0055】光ガイド層が無い多重量子井戸活性層では、垂直方向の放射角が非常に広くなりすぎて光学的特性に問題が生じるために、ディスク用LDに使用できない。

【0056】また、光ガイド層が無い多重量子井戸活性層では、前記光出射端面近傍領域であるレーザ共振器端面近傍領域及び内部領域でのパワー密度が異常に高くなり、且つ、レーザ光の吸収が激しくなり、結晶欠陥の増殖が発生しやすくなるため、たとえ窓構造にしたとしてもこれらの問題は解決できない。

【0057】しかしながら、光ガイド層で多重量子井戸を挟んで量子井戸活性層とすることにより、前記問題を緩和することが可能となる。

【0058】そして、本願特有の光ガイド層の役割としては、レーザ共振器内部領域の量子井戸層へ拡散する空孔原子をII族原子を含む光ガイド層において、II族

12

原子と補完し合い、出来るだけ量子井戸層へ拡散する空孔原子量を減少させることである。それにより、レーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップの変動を確実に抑制することが可能となるものである。

【0059】ここで、本願発明を達成するためには、半導体レーザ素子の構造として、以下の構成を有することが好ましい。

1. バンドギャップの大小関係は、

量子井戸活性層<N型クラッド層≤P型クラッド層

10 2. 活性層をなす量子井戸層の層数は、2~3層

3. 量子井戸層の層厚は、50~100Å

4. N型クラッド層に接する光ガイド層には、II族原子が含まれていなくても構わない。

【0060】また、上述のイオン化された原子を照射してバンドギャップを異ならせる半導体レーザ素子の製造方法は、更に、前記半導体基板の積層構造物の上に、第2導電型エッチングストップ層、他の第2導電型クラッド層および第2導電型保護層を含む積層構造物を更に形成する工程と、該積層構造物の上に、イオン照射マスクとなる誘電体膜を形成する工程と、イオン化された原子を照射して、前記積層構造に含まれる量子井戸活性層の共振器端面近傍のバンドギャップを、共振器内部領域のバンドギャップより大きくした後、前記エッチングストップ層よりも上部に形成した層に共振器方向に延びるリッジ状のストライプを形成する工程と、前記リッジ状ストライプを含む半導体基板上に、第1導電型電流阻止層を成長させる工程と、前記リッジ状ストライプ状に加工された誘電体膜上の第1導電型電流阻止層を除去する工程を備えることが望ましい。

20 30 【0061】この際、前記積層構造物上の誘電体膜上に形成される第1導電型電流阻止層は、誘電体膜以外の層の上に形成される第1導電型電流阻止層と、物理的な特性が異なって成長するため、エッティングにより簡単に除去できる。

【0062】こうして、レーザ共振器方向のリッジ状ストライプにおいて、その端面近傍にのみ、電流非注入領域を簡単な構成で作成することが可能となるものである。

【0063】

【発明の実施の形態】以下、この発明を図示の実施の形態により詳細に説明する。

【0064】<第1実施の形態>図1は、本実施の形態の半導体レーザ素子における断面図である。図1において、(a)は光出射端面を含む斜視図、(b)は図1(a)のIa-Ia'線における導波路の断面図、

(c)は図1(a)のIb-Ib'線における層厚方向の断面図である。また、101はn型GaAs基板、102はn型Al_xGa_yAs(x, yは0以上1以下;以下省略)第1クラッド層、103はバリア層及びウェル層が交互に積層された多重量子井戸構造を光ガイド層で

(8)

13

挿んでなり、且つ、前記バリア層、ウェル層、光ガイド層の各層にII族原子であるZn原子が含まれている活性層(MQW活性層)、104はp型Al_xGa_yAs第2クラッド層、105はp型エッチングストップ層、106は共振器方向にリッジストライプからなるp型Al_xGa_yAs第3クラッド層、107はp型GaAs保護層、108はリッジストライプからなるp型Al_xGa_yAs第3クラッド層の側面を埋め込む様に形成されたn型Al_xGa_yAs電流ブロック層、109はp型GaAs平坦化層、110はp型GaAsコンタクト層、111はp側電極、112はn側電極である。

【0065】また、113はレーザ共振器端面近傍のMQW活性層のバンドギャップエネルギーがレーザ共振器内部のMQW活性層103のバンドギャップエネルギーよりも大きい領域(窓領域)、114はp型GaAs保護層107上に形成されたn型Al_xGa_yAs電流ブロック層108からなる電流非注入領域、115はp型Al_xGa_yAs第3クラッド層106とp型GaAs保護層107からなるストライプ状のリッジである。

【0066】次に製造方法について図2に基づいて説明する。n型GaAs基板101(キャリア濃度2×10¹⁸cm⁻³)上に順次、有機金属気相成長(MOCVD)法にてn型Al_xGa_yAs第1クラッド層102(キャリア濃度8×10¹⁷cm⁻³)、II族原子であるZn原子が含まれているMQW活性層103(Zn原子濃度8×10¹⁷cm⁻³)、p型Al_xGa_yAs第2クラッド層104(キャリア濃度8×10¹⁷cm⁻³)、p型エッチングストップ層105、p型Al_xGa_yAs第3クラッド層106(キャリア濃度2×10¹⁸cm⁻³)、p型GaAs保護層107(キャリア濃度3×10¹⁸cm⁻³)をエピタキシャル成長させる(図2(a))。この時、101、102の各層にはSi原子が、103～107の各層にはII族原子であるZn原子が含まれている。

【0067】その後、レーザ共振器端面近傍領域のp型GaAs保護層107の表面に、プラズマCVD法とフォトリソグラフィー法によって、リッジストライプと直交する方向に幅40μmのストライプ状に、誘電体膜であるSi_xO_y(x, yは1以上)膜116を形成する。なお、ストライプのピッチは共振器長と同じ800μmとした(図2(b))。

【0068】次に、ラピッドサーマルアニール(RTA)法によるアニールによって、Si_xO_y(x, yは1以上)膜116直下のMQW活性層(窓領域)113のバンドギャップエネルギーをレーザ共振器内部領域のMQW活性層(活性領域)103のバンドギャップエネルギーよりも大きくさせる。この時のアニール条件は温度950℃、昇温速度100℃/秒、保持時間60秒で行った。

【0069】その後、レーザ共振器端面近傍領域に形成された誘電体膜であるSi_xO_y(x, yは1以上)膜1

14

16を除去し、公知のフォトリソグラフィー技術を用いてp型GaAs保護層107上に[0 1 1]又は[0 -1 -1]方向に伸びたストライプ状のレジストマスク117を形成し、公知のエッチング技術を用いて、p型エッチングストップ層105に到達するようにp型GaAs保護層107とp型Al_xGa_yAs第3クラッド層106を[0 1 1]又は[0 -1 -1]方向に伸びた約3μm幅のストライプ状のリッジ115に加工する(図2(c))。

【0070】次に、p型GaAs保護層107上に形成されたストライプ状のレジストマスク117を除去し、2回目のMOCVD法によって、p型GaAs保護層107とp型Al_xGa_yAs第3クラッド層106からなるリッジ115の側面をn型Al_xGa_yAs電流ブロック層108(キャリア濃度1×10¹⁸cm⁻³)とp型GaAs平坦化層109(キャリア濃度3×10¹⁸cm⁻³)で埋め込む(図2(d))。

【0071】その後、公知のフォトリソグラフィー技術を用いてリッジ115の側面に形成されたp型GaAs平坦化層109、及び、リッジ115上に形成されたp型GaAs平坦化層109の幅40μmのストライプ状のレーザ共振器端面近傍領域にレジストマスク118を形成し、公知のエッチング技術を用いて、レジストマスク118開口部のn型Al_xGa_yAs電流ブロック層108とp型GaAs平坦化層109を選択的に除去する(図2(e))。

【0072】次に、p型GaAs平坦化層109上に形成されたレジストマスク118を除去し、3回目のMOCVD法でp型GaAsコンタクト層110(キャリア濃度1×10¹⁹cm⁻³)を形成する(図2(f))。さらに、上面にはp電極111、下面にはn電極112を形成する。

【0073】その後、40μm幅のレーザ共振器端面近傍領域のほぼ中央にスクライブラインを入れて、共振器の長さにバー状に分割する。

【0074】最後にバーの両側の光出射端面に反射膜をコーティングし、さらにチップに分割して、長さ800μmの共振器のレーザ共振器端面部に約20μmの窓領域及び電流非注入領域を有した素子が作製される。

【0075】前記の本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法を用いた、エピタキシャル成長直後のウエハの一部を、フォトルミネッセンス(PL)法にてMQW活性層103のピーク波長を測定した結果、775nmであり、また、比較として、半導体レーザ素子の製造方法において、エピタキシャル成長させる工程でII族原子をMQW活性層103にドーピングしない、従来技術の半導体レーザ素子の製造方法を用いた、エピタキシャル成長直後のウエハの一部を、PL法にてMQW活性層103のピーク波長を測定した結果、775nmであった。このことから、エピタキシャル成長させる工程でI

(9)

15

I族原子をMQW活性層103にドーピングしても、MQW活性層103のピーク波長に変化が無いことが明らかである。

【0076】次に、前記の本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法を用いた、RTA法によるアニール後のウエハの一部を、PL法にて誘電体膜である Si_{x}O_y (x, y は1以上) 膜116直下のMQW活性層(窓領域)113とレーザ共振器内部領域のMQW活性層(活性領域)103のそれぞれのピーク波長を測定した。その結果、窓領域113が745nm、活性領域103が775nmであり、窓領域113からの発光スペクトルのピーク波長が活性領域103からの発光スペクトルのピーク波長よりも30nm短波長側に波長シフトしており、また、RTA法によるアニール後の活性領域103のPLのピーク波長は、前記のエピタキシャル成長直後のPLのピーク波長と同じであった。

【0077】また、比較として、半導体レーザ素子の製造方法において、エピタキシャル成長させる工程でII族原子をMQW活性層103にドーピングしない、従来技術の半導体レーザ素子の製造方法を用いた、RTA法によるアニール後のウエハの一部を、PL法にて窓領域113と活性領域103のそれぞれのピーク波長を測定した。その結果、窓領域113が740nm、活性領域103が770nmであり、窓領域113からの発光スペクトルのピーク波長は、活性領域103からの発光スペクトルのピーク波長よりも30nm短波長側に波長シフトしており、また、RTA法によるアニール後の活性領域103からの発光スペクトルのピーク波長は、前記のエピタキシャル成長直後のMQW活性層103の波長に比べて、5nm短波長側に波長シフトしていた。

【0078】フォトルミネッセンス(PL)法による活性層の発光スペクトルの殆どは、活性層のバンドギャップエネルギー(禁制帯幅)より大きなエネルギーの励起光を活性層へ入射することにより、活性層に存在する電子が伝導帯に励起され、前記電子が価電子帯のホールと再結合して得られるので、フォトルミネッセンス(PL)の発光スペクトルのピークエネルギーは、活性層のバンドギャップエネルギー(禁制帯幅)とほぼ等しい。従って、フォトルミネッセンス(PL)のピーク波長は、活性層のバンドギャップエネルギー(禁制帯幅)とほぼ反比例の関係にある。このことから、本実施の形態の製造方法を用いた半導体レーザ素子では、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のバンドギャップがレーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップより大きく、且つ、レーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップ変動が抑制された半導体レーザ素子が得られていることが明らかである。

【0079】前記の本実施の形態の製造方法では、RTA法によるアニールを行うことにより、誘電体膜である Si_{x}O_y (x, y は1以上) 膜116直下のp型GaN

16

s保護層107の表面からGa, As原子が Si_{x}O_y (x, y は1以上) 膜116中に吸上げられ、p型GaN保護層107内部に空孔原子が生成され、該空孔原子がn型GaN基板101方向に拡散していく、MQW活性層を無秩序化することができるので、誘電体膜である Si_{x}O_y (x, y は1以上) 膜116直下のMQW活性層113のバンドギャップエネルギーが大きくなり、共振器内部のMQW活性層(活性領域)103より実効的に禁制帯幅の広い窓領域が形成される。

10 【0080】さらに、前記の本実施の形態の製造方法では、エピタキシャル成長させる工程でII族原子をMQW活性層304にドーピングしているので、レーザ共振器内部領域において、エピタキシャル成長工程時及びアニール工程時に空孔原子が生成され、MQW活性層へ拡散したとしても、MQW活性層103全域に存在するII族原子と空孔原子が補完し合うので、MQW活性層の無秩序化を抑制することが可能となり、レーザ共振器内部領域におけるMQW活性層のバンドギャップ変動が抑制される。

20 【0081】次に、前記製造方法によって得られる本実施の形態の半導体レーザ素子のRTA法によるアニール前後でのレーザ共振器内部領域のZn原子の深さ方向分布を図3に示す。また、比較のために、半導体レーザ素子の製造方法において、エピタキシャル成長させる工程でII族原子をMQW活性層103にドーピングしない、従来技術の製造方法を用いた半導体レーザ素子のRTA法によるアニール前後でのレーザ共振器内部領域のZn原子の深さ方向分布を図4に示す。

【0082】図3、図4に示されたZn原子の深さ方向分布は、2次イオン質量分析装置(SIMS)で測定した結果であり、図3、図4の縦軸は不純物原子濃度(atoms/cm^3)、横軸はp型GaN保護層からの深さ(μm)である。また、図3、図4において、破線がRTA法によるアニール前、実線がRTA法によるアニール後のZn原子の深さ方向分布を示している。

【0083】図3、図4から判るように、エピタキシャル成長させる工程でZn原子をMQW活性層103にドーピングしない、従来技術の半導体レーザ素子のレーザ共振器内部領域では、RTA法によるアニール後において、MQW活性層内にZn原子が蓄積し、n型Al_xG_yAs第1クラッド層側へのZn原子の拡散が見られる。しかし、エピタキシャル成長させる工程でZn原子をMQW活性層103にドーピングする本実施の形態の半導体レーザ素子のレーザ共振器内部領域では、RTA法によるアニール後においても、MQW活性層103でのZn原子濃度に変化は無く、n型Al_xG_yAs第1クラッド層102側へのZn原子の拡散は見られない。

【0084】このことから、エピタキシャル成長させる工程でII族原子をMQW活性層103にドーピングすることにより、MQW活性層でのZn原子濃度の増加、

(10)

17

及び、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層側へのZn原子の拡散を抑制できることが明らかである。

【0085】本実施の形態でn型導電性不純物として用いられているSi原子は、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層102に含まれており、II族原子であるZn原子と同じII族原子位置に存在しやすい。そのため、MQW活性層103に大量のZn原子が存在しない限り、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層102側へ拡散は発生しない。また、「エピタキシャル成長された各層104～107に存在するZn等のII族原子は、拡散係数の大きい不純物原子であるので、RTA法によるアニールによって、MQW活性層103へのZn原子の拡散が発生しやすいが、前記拡散現象は、濃度勾配が小さければ、拡散係数が大きい原子であっても拡散は発生しにくくなる。本実施の形態の半導体レーザ素子では、RTA法によるアニール前にすでにMQW活性層103にZn原子が含まれているため、RTA法によるアニールによってMQW活性層103のZn濃度の増加を抑制し、さらには、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層102側へのZn原子の拡散も抑制できるのである。

【0086】前記の本実施の形態の製造方法によって得られた半導体レーザ素子の特性測定を行った。

【0087】また、比較のために、半導体レーザ素子の製造方法において、エピタキシャル成長させる工程でII族原子をMQW活性層103にドーピングしない、従来技術の製造方法を用いた半導体レーザ素子の特性測定も同時に行つた。

【0088】その結果、本実施の形態の半導体レーザ素子のCW120mWでの発振波長(λ)は785nm、従来技術の半導体レーザ素子のCW120mWでの発振波長(λ)は780nm、本実施の形態の半導体レーザ素子のCW120mWでの駆動電流(Iop)は150mA、従来技術の半導体レーザ素子のCW120mWでの駆動電流(Iop)は210mAであり、本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法では、発振波長の短波長化の抑制と駆動電流の低電流化が実現されていることが明らかである。

【0089】この発振波長の短波長化の抑制は、レーザ共振器内部領域のMQW活性層103への空孔原子の拡散が低減された効果であり、この駆動電流の低電流化は、MQW活性層103でのII族原子であるZn原子濃度の増加と、レーザ共振器内部領域のn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層102側へのZn原子の拡散が抑制され、MQW活性層からのキャリアのオーバーフローが抑制された効果である。

【0090】本実施の形態においては、誘電体膜として Si_xO_y (x, yは1以上)膜を用いたが、 Si_xN_y 、 $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ (x, y, zは1以上)のいずれかであれば、誘電体膜116下のp型GaaS保護層107に空孔原子が生成することができ、効果的にレーザ共振器端

(10)

18

面近傍領域の活性層をレーザ共振器内部領域の活性層(活性領域)より実効的に禁制帯幅の広い窓領域を形成できるので、前記と同様の効果が得られる。

【0091】本実施の形態においては、II族原子としてZn原子を用いたが、Be, Mgの何れかを用いても上述と同様の効果が得られる。

【0092】本実施の形態においては、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 系半導体レーザに関する記載したが、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ (x, y, zは0以上1以下)系半導体レーザであつても、同様の効果が得られる。

【0093】<第2実施の形態>本実施の形態における製造方法について図5に基づいて説明する。n型GaaS基板201(キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)上に順次、MOCVD法にてn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ (x, yは0以上1以下; 以下省略)第1クラッド層202(キャリア濃度 $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)、MQW活性層219、p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第2クラッド層204(キャリア濃度 $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)、p型エッチングストップ層205、p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第3クラッド層206(キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、p型GaaS保護層207(キャリア濃度 $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)をエピタキシャル成長させる(図5(a))。この時、201, 202の各層にはSi原子が、204～207の各層にはII族原子であるZn原子が含まれているが、MQW活性層219にはSi原子及びII族原子であるZn原子は含まれていない。

【0094】次に、前記ウエハの204～207の各層に含まれているII族原子であるZn原子を、MQW活性層219に拡散させるために、1回目のアニールを実施する。これにより、II族原子であるZn原子を含むMQW活性層203が形成される。この時のアニール条件は、V族原子であるAs原子を含む雰囲気下で、温度700°C、保持時間2時間で行った。

【0095】前記1回目のアニール後のウエハの一部を、SIMSにて不純物原子濃度測定を行った結果、MQW活性層203のウェル層でのZn原子濃度は $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であった。

【0096】また、前記1回目のアニール後のウエハの一部を、PL法にてMQW活性層203のピーク波長を測定した結果、775nmであり、比較として、前記のエピタキシャル成長直後のウエハの一部を、PL法にてMQW活性層219のピーク波長を測定した結果、775nmであった。このことから、前記アニールを行つても、MQW活性層の波長に変化が無いことが明らかである。

【0097】その後、レーザ共振器端面近傍領域のp型GaaS保護層207の表面に、プラズマCVD法とフォトリソグラフィー法によって、リジットライブと直交する方向に幅 $40 \mu\text{m}$ のストライプ状に、誘電体膜である Si_xO_y (x, yは1以上)膜216を形成する。

(11)

19

なお、ストライプのピッチは共振器長と同じ $800\mu m$ とした(図5(b))。

【0098】次に、RTA法による2回目のアニールによって、 Si_xO_y (x, yは1以上)膜216直下のMQW活性層(窓領域)213のバンドギャップエネルギーをレーザ共振器内部領域のMQW活性層(活性領域)203のバンドギャップエネルギーよりも大きくさせる。この時のアニール条件は温度950℃、昇温速度100℃/秒、保持時間60秒で行った。

【0099】前記のRTA法による2回目のアニール後のウエハの一部を、PL法にて誘電体膜である Si_xO_y (x, yは1以上)膜216直下のMQW活性層(窓領域)213とレーザ共振器内部領域のMQW活性層(活性領域)203のそれぞれのピーク波長を測定した。その結果、窓領域213が745nm、活性領域203が775nmであり、窓領域213からの発光スペクトルのピーク波長は、活性領域203からの発光スペクトルのピーク波長よりも30nm短波長側に波長シフトしており、また、RTA法による2回目のアニール後の活性領域203のPLのピーク波長は、前記の1回目のアニール後のPLのピーク波長と同じであった。

【0100】のことから、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のバンドギャップがレーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップより大きく、且つ、レーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップ変動が抑制された半導体レーザ素子が得られていることが明らかである。

【0101】その後、レーザ共振器端面近傍領域に形成された誘電体膜である Si_xO_y (x, yは1以上)膜216を除去し、公知のフォトリソグラフィー技術を用いてp型GaAs保護層207上に[011]又は[0-1-1]方向に伸びたストライプ状のレジストマスク217を形成し、公知のエッチング技術を用いて、p型エッチングストップ層205に到達するようにp型GaAs保護層207とp型Al_xG_yAs第3クラッド層206を[011]又は[0-1-1]方向に伸びた約3μm幅のストライプ状のリッジ215に加工する(図5(c))。

【0102】次に、p型GaAs保護層207上に形成されたストライプ状のレジストマスク217を除去し、2回目のMOCVD法によって、p型GaAs保護層207とp型Al_xG_yAs第3クラッド層206からなるリッジ215の側面をn型Al_xG_yAs電流プロック層208(キャリア濃度 $1\times 10^{18}cm^{-3}$)とp型GaAs平坦化層209(キャリア濃度 $3\times 10^{18}cm^{-3}$)で埋め込む(図5(d))。

【0103】その後、公知のフォトリソグラフィー技術を用いてリッジ215の側面に形成されたp型GaAs平坦化層209、及び、リッジ215上に形成されたp型GaAs平坦化層209の幅40μmのストライプ状

20

のレーザ共振器端面近傍領域にレジストマスク218を形成し、公知のエッチング技術を用いて、レジストマスク218開口部のn型Al_xG_yAs電流プロック層208とp型GaAs平坦化層209を選択的に除去する(図5(e))。

【0104】次に、p型GaAs平坦化層209上に形成されたレジストマスク218を除去し、3回目のMOCVD法でp型GaAsコンタクト層210(キャリア濃度 $1\times 10^{19}cm^{-3}$)を形成する(図5(f))。さらに、上面にはp電極211、下面にはn電極212を形成する。

【0105】その後、40μm幅のレーザ共振器端面近傍領域のほぼ中央にスクライブラインを入れて、共振器の長さにバー状に分割する。最後にバーの両側の光出射端面に反射膜をコーティングし、さらにチップに分割して、長さ800μmの共振器のレーザ共振器端面部に約20μmの窓領域及び電流非注入領域を有した素子が作製される。

【0106】前記製造方法によって得られる半導体レーザ素子の1回目のアニール後及びRTA法による2回目のアニール後でのレーザ共振器内部領域のZn原子の深さ方向分布を図6に示す。

【0107】図6に示されたZn原子の深さ方向分布は、2次イオン質量分析装置(SIMS)で測定した結果であり、図6の縦軸は不純物原子濃度(atoms/cm³)、横軸はp型GaAs保護層からの深さ(μm)である。また、図6において、破線がレーザ共振器端面近傍領域に誘電体膜である Si_xO_y (x, yは1以上)膜216を形成する工程前に実施する1回目のアニール後のZn原子の深さ方向分布を示しており、実線がRTA法による2回目のアニール後のZn原子の深さ方向分布を示している。

【0108】図6から判るように、1回目のアニール後では、Zn原子がMQW活性層203に拡散しているが、n型Al_xG_yAs第1クラッド層202側へのZn原子の拡散は見られず、n型Al_xG_yAs第1クラッド層202とMQW活性層203の界面近傍でZn原子がパイルアップし、MQW活性層203とp型Al_xG_yAs第2クラッド層204の界面近傍でZn原子濃度が減少したZn原子分布となっている。さらに、RTA法による2回目のアニール後では、n型Al_xG_yAs第1クラッド層202側へのZn原子の拡散は見られず、MQW活性層203近傍領域でのZn原子分布が平坦となっており、1回目のアニール後に見られた、n型Al_xG_yAs第1クラッド層202とMQW活性層203の界面でのZn原子のパイルアップ、及び、MQW活性層203とp型Al_xG_yAs第2クラッド層204の界面近傍でのZn原子濃度の減少領域が無くなっている。

【0109】本実施の形態の製造方法の1回目のアニ

(12)

21

ルを行うことにより、p型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第2クラッド層204の界面近傍に存在するII族原子である Zn 原子が主としてMQW活性層203へ拡散する。しかし、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層202には Si 原子が存在するため、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層202とMQW活性層203の界面で Zn 原子の拡散がストップし、そこで蓄積される。そのため、MQW活性層203とp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第2クラッド層204の界面近傍にII族原子である Zn 原子の低濃度領域が形成され、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層202側のMQW活性層203内にII族原子である Zn 原子の高濃度領域が形成される。

【0110】次に、RTA法による2回目のアニールを行うことにより、204～207の各層に存在するII族原子である Zn 原子、及び、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層202側のMQW活性層203内に存在するII族原子である Zn 原子が、MQW活性層203近傍でのII族原子である Zn 原子の濃度勾配が無くなるように、MQW活性層203とp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第2クラッド層204の界面近傍に形成されたII族原子である Zn 原子の低濃度領域に Zn 原子が拡散する。n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層202への Zn 原子の拡散は、前述の通り、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層202には Si 原子が存在するため、起こらない。

【0111】従って、レーザ共振器端面近傍領域に誘電体膜である Si_xO_y (x, y は1以上)膜216を形成する工程前に、前記MQW活性層にII族原子を拡散させるアニール工程を行うことにより、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層202側へのII族原子である Zn 原子の拡散を抑制でき、且つ、MQW活性層203近傍領域でのII族原子である Zn 原子の分布を均一にすることが可能となるのである。

【0112】前記の本実施の形態の製造方法によって得られた半導体レーザ素子の特性測定を行った。

【0113】また、比較のために、前記の製造方法において、MQW活性層にII族原子である Zn 原子を拡散させるアニール工程を、レーザ共振器端面近傍領域に誘電体膜である Si_xO_y (x, y は1以上)膜216を形成する工程後に行った場合の半導体レーザ素子の特性測定も同時に行った。

【0114】その結果、本実施の形態及び前記比較用の半導体レーザ素子のCW120mWでの発振波長(λ)はともに785nm、本実施の形態及び前記比較用の半導体レーザ素子のCW120mWでの駆動電流(I_o p)は150mAであった。

【0115】また、これらを70°C120mWの信頼性試験を行ったところ、前記比較用の半導体レーザ素子の平均寿命は約3000時間であるのに対し、本実施の形態の半導体レーザ素子では約4000時間とさらに平均寿命が向上した。

22

【0116】これは、本実施の形態の半導体レーザ素子において、レーザ共振器端面近傍領域に誘電体膜である Si_xO_y (x, y は1以上)膜216を形成する工程前に実施する1回目のアニール工程を行うことにより、II族原子である Zn 原子をMQW活性層に拡散させるだけではなく、活性層近傍領域でのII族原子である Zn 原子の分布が均一になり、MQW活性層からのキャリアのオーバーフローが抑制され、且つ、レーザ共振器内部領域のMQW活性層の結晶性が改善された結果である。

【0117】本実施の形態においては、誘電体膜として Si_xO_y (x, y は1以上)膜を用いたが、 Si_xNy , $\text{Si}_x\text{O}_y\text{N}_z$ (x, y, z は1以上)のいずれかであれば、誘電体膜216下のp型 GaAs 保護層207に空孔原子が生成することができ、効果的にレーザ共振器端面近傍領域の活性層をレーザ共振器内部領域の活性層(活性領域)より実効的に禁制帯幅の広い窓領域を形成できるので、前記と同様の効果が得られる。

【0118】本実施の形態においては、II族原子として Zn 原子を用いたが、 Be , Mg の何れかを用いても上述と同様の効果が得られる。

【0119】本実施の形態においては、204～207の各層に含まれているII族原子である Zn 原子を、MQW活性層に拡散させるための1回目のアニールにおいて、V族原子である As 原子を含む雰囲気下で行ったが、V族原子である N 原子を含む雰囲気下で行っても、前記と同様の効果が得られる。

【0120】本実施の形態においては、204～207の各層に含まれているII族原子である Zn 原子を、MQW活性層に拡散させるための1回目のアニールにおいて、アニール温度を700°Cで行ったが、アニール温度が600°C以上750°C以下であれば、n型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層202側へのII族原子である Zn 原子の拡散を抑制でき、且つ、MQW活性層203近傍領域でのII族原子である Zn 原子の分布を均一にすることが可能となり、前記と同様の効果が得られる。

【0121】本実施の形態においては、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 系半導体レーザに関して記載したが、 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ (x, y, z は0以上1以下)系半導体レーザであっても、同様の効果が得られる。

【0122】<第3実施の形態>本実施の形態においては、前記第1実施の形態に記載の半導体レーザ素子におけるMQW活性層103でのII族原子の不純物原子濃度について検討する。

【0123】前記第1実施の形態に記載の半導体レーザ素子において、MQW活性層103のII族原子である Zn 原子濃度が $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$, $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, $3 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ である8種類の半導体レーザ素子を作製した。

【0124】図7にMQW活性層のウェル層での Zn 原

(13)

23

子濃度とCW 120 mWでの駆動電流 (I_{op}) の関係について示す。

【0125】図7から判るように、MQW活性層のウェル層での Zn 原子濃度が $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下または $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上では、駆動電流が200 mA以上となっている。MQW活性層103のウェル層での Zn 原子濃度が $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以下では、RTA法によるアニールによって、104～107の各層に存在するII族原子である Zn 原子がn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ (x, y は0以上1以下；以下省略)第1クラッド層102側へ拡散することにより、p-n接合位置がn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層102側へ移動し、その結果、キャリアのオーバーフローが発生しているためである。また、 Zn 原子濃度が $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以上では、RTA法によるアニールによって、MQW活性層103のウェル層に存在するII族原子である Zn 原子がn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層102側へ拡散することにより、p-n接合位置がn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{As}$ 第1クラッド層102側へ移動し、その結果、キャリアのオーバーフローが発生しているためである。

【0126】従って、第1実施の形態の半導体レーザ素子において、駆動電流が200 mA未満となるようにするには、MQW活性層のウェル層の Zn 原子濃度は、 $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下にする必要があり、より好ましくは、素子取れ数の点で $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下とすることが望ましい。

【0127】これにより、II族原子の拡散によるp-n接合位置の第1導電型の第1クラッド層側への移動を阻止でき、その結果、活性層からのキャリアのオーバーフローを抑制できる。

【0128】本実施の形態においては、第1導電型基板上に、第1導電型の第1クラッド層、II族原子を含むバリア層及びII族原子を含むウェル層が交互に積層された多重量子井戸構造をII族原子を含む光ガイド層で挟んでなる活性層、第2導電型の第2クラッド層、第2導電型のエッティングストップ層、第2導電型の第3クラッド層、第2導電型の保護層を順次エピタキシャル成長させ、レーザ共振器端面近傍領域の前記エピタキシャル成長されたウェハ表面上に誘電体膜を形成し、該ウェハをアニールして、前記誘電体膜下に空孔を生成するとともに、該空孔を前記活性層に達するまで拡散させて、前記活性層のレーザ共振器端面近傍領域のバンドギャップをレーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップより大きくする前記第1実施の形態に記載の半導体レーザ素子の製造方法を用いて検討を行ったが、第1導電型基板上に、第1導電型の第1クラッド層、バリア層及びウェル層が交互に積層された多重量子井戸構造を光ガイド層で挟んでなる活性層、第2導電型の第2クラッド層、第2導電型のエッティングストップ層、第2導電型の第3クラッド層、第2導電型の保護層を順次エピタキシャル成

24

長させ、前記エピタキシャル成長されたウェハをアニールし、前記第2導電型の第2クラッド層、第2導電型のエッティングストップ層、第2導電型の第3クラッド層、第2導電型の保護層に存在する第2導電性を示す不純物を活性層へ拡散させ、レーザ共振器端面近傍領域の前記エピタキシャル成長されたウェハ表面上に誘電体膜を形成し、該ウェハをアニールして、前記誘電体膜下に空孔を生成するとともに、該空孔を前記活性層に達するまで拡散させて、前記活性層のレーザ共振器端面近傍領域のバンドギャップをレーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップより大きくする前記第2実施の形態に記載の半導体レーザ素子の製造方法を用いても、前記と同様の効果が得られる。

【0129】<第4実施の形態>図8は、本実施の形態における半導体レーザ素子の構造を示す断面図である。図8において、(a)は光出射端面を含む斜視図、(b)は図8(a)のIa-Ia'線における導波路の断面図、(c)は図8(a)のIb-Ib'線における層厚方向の断面図である。また、301は[011]又は[0-1-1]方向に15度傾斜しているn型 GaAs 基板、302はn型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ (y, z は0以上1以下；以下省略)バッファ層、303はn型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ (x, y, z は0以上1以下；以下省略)第1クラッド層、304はバリア層及びウェル層が交互に積層された多重量子井戸構造を光ガイド層で挟んでなり、且つ、前記バリア層、ウェル層、光ガイド層の各層にII族原子である Be 原子が含まれている活性層(MQW活性層)、305はp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層、306はp型エッティングストップ層、307は共振器方向にリッジストライプからなるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層、308はp型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 中間層、309はp型 GaAs 保護層、310はリッジストライプからなるp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層の側面を埋め込む様に形成されたn型 $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$ (x, z は0以上1以下；以下省略)電流ブロック層、311はp型 GaAs コンタクト層、312はp側電極、313はn側電極である。

【0130】また、314はレーザ共振器端面近傍のMQW活性層のバンドギャップエネルギーがレーザ共振器内部のMQW活性層304のバンドギャップエネルギーよりも大きい領域(窓領域)、315はp型 GaAs 保護層309上に形成されたn型 $\text{Al}_x\text{In}_z\text{P}$ 電流ブロック層310からなる電流非注入領域、316はp型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層307、p型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 中間層308、p型 GaAs 保護層309からなるストライプ状のリッジである。

【0131】次に製造方法について図9に基づいて説明する。[011]又は[0-1-1]方向に15度傾斜しているn型 GaAs 基板301(キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)上に順次、分子線エピタキシー(MB

(14)

25

E) 法にてn型 $G_{ay}In_zP$ バッファ層302(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、n型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第1クラッド層303(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、II族原子であるBe原子が含まれているMQW活性層304(Be原子濃度 $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)、p型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第2クラッド層305(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、p型エッチングストップ層306、p型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第3クラッド層307(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、p型 $G_{ay}In_zP$ 中間層308、p型 $GaAs$ 保護層309(キャリア濃度 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)をエピタキシャル成長させる(図9(a))。この時、301~303の各層にはSi原子が、304~309の各層にはII族原子であるBe原子が含まれている。

【0132】前記のエピタキシャル成長直後のウエハの一部を、PL法にてMQW活性層304のピーク波長を測定した結果、640nmであり、また、比較として、前記のエピタキシャル成長させる工程でII族原子をMQW活性層304にドーピングしない、従来技術の半導体レーザ素子の製造方法を用いた、エピタキシャル成長直後のウエハの一部を、PL法にてMQW活性層304のピーク波長を測定した結果、640nmであった。このことから、エピタキシャル成長させる工程でII族原子をMQW活性層304にドーピングしても、MQW活性層304のピーク波長に変化が無いことが明らかである。

【0133】次に、公知のフォトリソグラフィー技術を用いて、レーザ共振器内部領域のp型 $GaAs$ 保護層309の表面に、リッジストライプと直交する方向に幅760μmでストライプ状に、保護膜317としてレジストマスクを形成する。前記保護膜317は、レーザ共振器内部領域のp型 $GaAs$ 保護層309に、イオン化された原子が照射されないために形成されたものである。なお、ストライプのピッチは共振器長と同じ800μmとした(図9(b))。

【0134】その後、レーザ共振器端面近傍領域のp型 $GaAs$ 保護層309に、イオン化された原子の照射(イオン照射)を行う。本実施の形態においては、窒素(N)イオンを用い、イオン照射エネルギーが150keVの条件下で行った。

【0135】次に、保護膜317を除去し、アニールを行う。これにより、イオン照射が行われたレーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層(窓領域)314のバンドギャップエネルギーをレーザ共振器内部領域のMQW活性層(活性領域)304のバンドギャップエネルギーよりも大きくさせる。この時のアニール条件は、V族原子であるAs原子を含む雰囲気下で、温度700℃、保持時間2時間で行った。

【0136】前記のアニール後のウエハの一部を、PL法にてイオン照射が行われたレーザ共振器端面近傍領域

26

のMQW活性層(窓領域)314とレーザ共振器内部領域のMQW活性層(活性領域)304のそれぞれのピーク波長を測定した。その結果、窓領域314が610nm、活性領域304が640nmであり、窓領域314からの発光スペクトルのピーク波長は、活性領域304からの発光スペクトルのピーク波長よりも30nm短波長側に波長シフトしており、また、アニール後の活性領域304のPLのピーク波長は、前記のエピタキシャル成長直後のPLのピーク波長と同じであった。

【0137】このことから、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のバンドギャップがレーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップより大きく、且つ、レーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップ変動が抑制された半導体レーザ素子が得られていることが明らかである。

【0138】前記の本実施の形態の製造方法では、イオン照射を行うことにより、p型 $GaAs$ 保護層309表面に空孔原子が生成され、アニールを行うことにより、該空孔原子がn型 $GaAs$ 基板301方向に拡散していく、MQW活性層を無秩序化することができる所以、イオン照射領域直下のMQW活性層314のバンドギャップエネルギーが大きくなり、共振器内部のMQW活性層(活性領域)304より実効的に禁制帯幅の広い窓領域が形成される。

【0139】さらに、前記の本実施の形態の製造方法では、エピタキシャル成長させる工程でII族原子をMQW活性層304にドーピングしているので、レーザ共振器内部領域において、エピタキシャル成長工程時及びアニール工程時に空孔原子が生成され、MQW活性層へ拡散したとしても、MQW活性層304全域に存在するII族原子と空孔原子が補完し合うので、MQW活性層の無秩序化を抑制することが可能となり、レーザ共振器内部領域におけるMQW活性層のバンドギャップ変動が抑制される。

【0140】次に、公知のフォトリソグラフィー技術を用いてp型 $GaAs$ 保護層309上に[0-1-1]又は[0 1 -1]方向に伸びたストライプ状のレジストマスク318を形成し、公知のエッチング技術を用いて、p型エッチングストップ層306に到達するようにp型 $GaAs$ 保護層309とp型 $G_{ay}In_zP$ 中間層308とp型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第3クラッド層307を[0-1-1]又は[0 1 -1]方向に伸びた約3μm幅のストライプ状のリッジ316に加工する(図9(c))。

【0141】その後、p型 $GaAs$ 保護層309上に形成されたストライプ状のレジストマスク318を除去し、2回目のMBE法によって、p型 $Al_xGa_yIn_zP$ 第3クラッド層307、p型 $G_{ay}In_zP$ 中間層308、p型 $GaAs$ 保護層309からなるリッジ316の側面をn型 Al_xIn_zP 電流ブロック層310で埋め込

(15)

27

む(図9(d))。

【0142】次に、公知のフォトリソグラフィー技術を用いてリッジ316の側面に形成されたn型Al_xIn_zP電流ブロック層310、及び、リッジ316上に形成されたn型Al_xIn_zP電流ブロック層310の幅40μmのストライプ状のレーザ共振器端面近傍領域にレジストマスク319を形成し、公知のエッチング技術を用いて、レジストマスク319開口部のn型Al_xIn_zP電流ブロック層310を選択的に除去する(図9(e))。

【0143】リッジ316上に形成されたn型AlInP電流ブロック層310を除去する工程が、電流非注入領域315の形成工程を兼ねるので、工程数の削減が可能となっており、さらに、前記プロセスによって形成された電流非注入領域315が、窓領域314の直上になつてるので、窓領域への電流注入を防ぎ、窓領域の空孔欠陥の存在によるキャリア損失を抑えられるので、発光に寄与しない無効電流が低減される。

【0144】その後、n型Al_xIn_zP電流ブロック層310上に形成されたレジストマスク319を除去し、3回目のMBE法でp型GaAsコンタクト層311を形成する(図9(f))。さらに、上面にはp電極312、下面にはn電極313を形成する。

【0145】次に、40μm幅のレーザ共振器端面近傍領域のほぼ中央にスクライブラインを入れて、共振器の長さにバー状に分割し、最後にバーの両側の光出射に反射膜をコーティングし、さらにチップに分割して、長さ800μmの共振器のレーザ共振器端面部に約20μmの窓領域及び電流非注入領域を有した素子が作製される。

【0146】前記の本実施の形態の製造方法によって得られた半導体レーザ素子の特性測定を行った。

【0147】また、比較のために、半導体レーザ素子の製造方法において、エピタキシャル成長させる工程でII族原子をMQW活性層304にドーピングしない、従来技術の製造方法を用いた半導体レーザ素子の特性測定も同時に行つた。

【0148】その結果、本実施の形態の半導体レーザ素子のCW50mWでの発振波長(λ)は660nm、従来技術の半導体レーザ素子のCW50mWでの発振波長(λ)は655nm、本実施の形態の半導体レーザ素子のCW50mWでの駆動電流(I_{op})は110mA、従来技術の半導体レーザ素子のCW50mWでの駆動電流(I_{op})は130mAであり、本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法では、発振波長の短波長化の抑制と駆動電流の低電流化が実現されていることが明らかである。

【0149】この発振波長の短波長化の抑制は、レーザ共振器内部領域のMQW活性層304への空孔原子の拡散が低減された効果であり、この駆動電流の低電流化

28

は、MQW活性層304でのII族原子であるBe原子濃度の増加と、レーザ共振器内部領域のn型Al_xGa_yIn_zP第1クラッド層303側へのBe原子の拡散が抑制され、MQW活性層からのキャリアのオーバーフローが抑制された効果である。

【0150】本実施の形態においては、II族原子としてBe原子を用いたが、Mg、Znの何れかを用いても上述と同様の効果が得られる。

【0151】本実施の形態においては、II族原子が含まれているMQW活性層304のウェル層での不純物原子濃度を $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ にしているが、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下の範囲であれば、前記と同様の効果が得られる。

【0152】本実施の形態においては、レーザ共振器端面近傍領域のp型GaAs保護層309に、Nイオンの照射を行っているが、窒素(N)イオン、酸素(O)イオン、アルゴン(Ar)イオンのいずれか一つ又は複数のイオンの照射であれば、効果的にレーザ共振器端面近傍領域の活性層をレーザ共振器内部領域の活性層(活性領域)より実効的に禁制帯幅の広い窓領域を形成できるので、前記と同様の効果が得られる。

【0153】本実施の形態においては、V族原子であるAs原子を含む雰囲気下でアニールを行つたが、V族原子であるN原子を含む雰囲気下で行つても、前記と同様の効果が得られる。本実施の形態においては、アニール温度を700°Cで行つたが、アニール温度が600°C以上750°C以下であれば、n型Al_xGa_yIn_zP第1クラッド層303側へのII族原子であるBe原子の拡散を抑制することが可能となり、前記と同様の効果が得られる。

【0154】<第5実施の形態>本実施の形態における製造方法について図10に基づいて説明する。【011】又は【0-1-1】方向に15度傾斜しているn型GaAs基板401(キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)上に順次、MBE法にてn型Ga_yIn_zP(y, zは0以上1以下；以下省略)バッファ層402(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、n型Al_xGa_yIn_zP(x, y, zは0以上1以下；以下省略)第1クラッド層403(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、MQW活性層420、p型Al_xGa_yIn_zP第2クラッド層405(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、p型エッチンググストップ層406、p型Al_xGa_yIn_zP第3クラッド層407(キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、p型Ga_yIn_zP中間層408、p型GaAs保護層409(キャリア濃度 $7 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)をエピタキシャル成長させる(図10(a))。この時、401～403の各層にはSi原子が、405～409の各層にはII族原子であるBe原子が含まれているが、MQW活性層420にはSi原子及びII族原子であるBe原子は含まれていない。

(16)

29

【0155】次に、前記ウエハの405～409の各層に含まれているII族原子であるBe原子を、MQW活性層420に拡散するために、1回目のアニールを実施する。これにより、II族原子であるBe原子を含むMQW活性層404が形成される。この時のアニール条件は、V族原子であるAs原子を含む雰囲気下で、温度700°C、保持時間2時間で行った。

【0156】前記1回目のアニール後のウエハの一部を、SIMSにて不純物原子濃度測定を行った結果、MQW活性層404のウェル層でのBe原子濃度は $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ であった。

【0157】また、前記1回目のアニール後のウエハの一部を、PL法にてMQW活性層404のピーク波長を測定した結果、640nmであり、比較として、前記のエピタキシャル成長直後のウエハの一部を、PL法にてMQW活性層420のピーク波長を測定した結果、640nmであった。このことから、前記アニールを行っても、MQW活性層のピーク波長に変化が無いことが明らかである。

【0158】次に、公知のフォトリソグラフィー技術を用いて、レーザ共振器内部領域のp型GaAs保護層409の表面に、リッジストライプと直交する方向に幅760μmストライプ状に、保護膜417としてレジストマスクを形成する。前記保護膜417は、レーザ共振器内部領域のp型GaAs保護層409に、イオン化された原子が照射されないために形成されたものである。なお、ストライプのピッチは共振器長と同じ800μmとした(図10(b))。

【0159】その後、レーザ共振器端面近傍領域のp型GaAs保護層409に、イオン化された原子の照射(イオン照射)を行う。本実施の形態においては、アルゴン(Ar)イオンを用い、イオン照射エネルギーが10keVの条件下で行った。

【0160】次に、保護膜417を除去し、RTA法による2回目のアニールを行う。これにより、イオン照射が行われたレーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層(窓領域)414のバンドギャップエネルギーをレーザ共振器内部領域のMQW活性層(活性領域)404のバンドギャップエネルギーよりも大きくさせる。この時のアニール条件は温度950°C、昇温速度100°C/秒、保持時間60秒で行った。

【0161】前記のRTA法による2回目のアニール後のウエハの一部を、PL法にてイオン照射が行われたレーザ共振器端面近傍領域のMQW活性層(窓領域)414とレーザ共振器内部領域のMQW活性層(活性領域)404のそれぞれのピーク波長を測定した。その結果、窓領域414が600nm、活性領域404が640nmであり、窓領域414からの発光スペクトルのピーク波長は、活性領域404からの発光スペクトルのピーク波長よりも40nm短波長側に波長シフトしており、ま

30

た、RTA法による2回目のアニール後の活性領域404のPLのピーク波長は、前記の1回目のアニール後のPLのピーク波長と同じであった。

【0162】このことから、レーザ共振器端面近傍領域の前記活性層のバンドギャップがレーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップより大きく、且つ、レーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップ変動が抑制された半導体レーザ素子が得られていることが明らかである。

【0163】さらに、前記のRTA法による2回目のアニール後のウエハの一部を用い、レーザ共振器内部領域のBe原子の深さ方向分布のSIMS測定を行った。その結果、n型Al_xG_yIn_zP第1クラッド層403へのBe原子の拡散は見られず、MQW活性層404近傍領域でのBe原子分布が平坦となっていた。

【0164】次に、公知のフォトリソグラフィー技術を用いて、p型GaAs保護層409上に[0-11]又は[01-1]方向に伸びたストライプ状のレジストマスク418を形成し、公知のエッチング技術を用いて、p型エッチングストップ層406に到達するようにp型GaAs保護層409とp型G_yIn_zP中間層408とp型Al_xG_yIn_zP第3クラッド層407を[0-11]又は[01-1]方向に伸びた約3μm幅のストライプ状のリッジ416に加工する(図10(c))。

【0165】その後、p型GaAs保護層409上に形成されたストライプ状のレジストマスク418を除去し、2回目のMBE法によって、p型Al_xG_yIn_zP第3クラッド層407、p型G_yIn_zP中間層408、p型GaAs保護層409からなるリッジ416の側面をn型Al_xIn_zP(x, zは0以上1以下；以下省略)電流ブロック層410で埋め込む(図10(d))。

【0166】次に、公知のフォトリソグラフィー技術を用いて、リッジ416の側面に形成されたn型Al_xIn_zP電流ブロック層410、及び、リッジ416上に形成されたn型Al_xIn_zP電流ブロック層410の幅40μmのストライプ状のレーザ共振器端面近傍領域にレジストマスク419を形成し、公知のエッチング技術を用いて、レジストマスク419開口部のn型Al_xIn_zP電流ブロック層410を選択的に除去する(図10(e))。

【0167】次に、n型AlInP電流ブロック層410上に形成されたレジストマスク419を除去し、3回目のMBE法でp型GaAsコンタクト層411を形成する(図10(f))。さらに、上面にはp電極412、下面にはn電極413を形成する。

【0168】次に、40μm幅のレーザ共振器端面近傍領域のほぼ中央にスクリューブラインを入れて、共振器の長さにバー状に分割し、最後にバーの両側の光出射に反

(17)

31

射膜をコーティングし、さらにチップに分割して、長さ $800\mu m$ の共振器のレーザ共振器端面部に約 $20\mu m$ の窓領域及び電流非注入領域を有した素子が作製される。

【0169】前記の本実施の形態の製造方法によって得られた半導体レーザ素子の特性測定を行った。

【0170】また、比較のために、前記の第4実施の形態の製造方法を用いた半導体レーザ素子の特性測定も同時に行った。

【0171】その結果、本実施の形態及び前記第4実施の形態の半導体レーザ素子の最大光出力は 100mW 以上の光出力においても COD フリーであり、また、これらを $70^{\circ}\text{C} 50\text{mW}$ の信頼性試験を行ったところ、前記第4実施の形態の半導体レーザ素子の平均寿命は約 2000 時間であるのに対し、本実施の形態の半導体レーザ素子では約 3000 時間とさらに平均寿命が向上した。

【0172】これは、本実施の形態の半導体レーザ素子において、レーザ共振器端面近傍領域にイオン照射する工程前に実施する1回目のアニール工程を行うことにより、活性層近傍領域での II 族原子である Be 原子の分布が均一になり、MQW 活性層からのキャリアのオーバーフローが抑制され、且つ、レーザ共振器内部領域の MQW 活性層の結晶性が改善された結果である。

【0173】本実施の形態においては、II 族原子として Be 原子を用いたが、Mg, Zn の何れかを用いても上述と同様の効果が得られる。

【0174】本実施の形態においては、前記 405～409 の各層に含まれている II 族原子である Be 原子を MQW 活性層に拡散させる1回目のアニール工程によって、MQW 活性層 404 のウェル層での Be 原子濃度が $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ となっているが、 $3 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 以上 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 以下の範囲であれば、前記と同様の効果が得られる。

【0175】本実施の形態においては、レーザ共振器端面近傍領域の p 型 GaAs 保護層 309 に、Ar イオンの照射を行っているが、窒素 (N) イオン、酸素 (O) イオン、アルゴン (Ar) イオンのいずれか一つ又は複数のイオンの照射であれば、効果的にレーザ共振器端面近傍領域の活性層をレーザ共振器内部領域の活性層（活性領域）より実効的に禁制帯幅の広い窓領域を形成できるので、前記と同様の効果が得られる。

【0176】本実施の形態においては、前記 405～409 の各層に含まれている II 族原子である Be 原子を MQW 活性層に拡散させる1回目のアニール工程において、V 族原子である As 原子を含む雰囲気下でアニールを行ったが、V 族原子である N 原子を含む雰囲気下で行っても、前記と同様の効果が得られる。

【0177】本実施の形態においては、前記 405～409 の各層に含まれている II 族原子である Be 原子を MQW 活性層 404 に拡散させる1回目のアニール工程

32

において、アニール温度を 700°C で行ったが、アニール温度が 600°C 以上 750°C 以下であれば、n 型 $\text{Al}_{x}\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第1クラッド層 303 側への II 族原子である Be 原子の拡散を抑制することが可能となり、前記と同様の効果が得られる。

【0178】<第6実施の形態>本実施の形態においては、前記第4実施の形態に記載の半導体レーザ素子の製造方法において、レーザ共振器内部領域の p 型 GaAs 保護層にイオン化された原子が照射されないように、誘電体膜を保護膜として用いた場合について、図 11に基づいて説明する。

【0179】[0 1 1] 又は [0-1-1] 方向に 15° 傾斜している n 型 GaAs 基板 501（キャリア濃度 $2 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ）上に順次、MBE 法にて n 型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ (y, z は 0 以上 1 以下；以下省略) パッファ層 502（キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ）、n 型 $\text{Al}_{x}\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ (x, y, z は 0 以上 1 以下；以下省略) 第1クラッド層 503（キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ）、II 族原子である Be 原子が含まれている MQW 活性層 504（Be 原子濃度 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ ）、p 型 $\text{Al}_{x}\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第2クラッド層 505（キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ）、p 型エッチングストップ層 506、p 型 $\text{Al}_{x}\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第3クラッド層 507（キャリア濃度 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ）、p 型 $\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 中間層 508、p 型 GaAs 保護層 509（キャリア濃度 $7 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ ）をエピタキシャル成長させる（図 11 (a)）。

【0180】この時、501～503 の各層には Si 原子が、504～509 の各層には II 族原子である Be 原子が含まれている。

【0181】次に、レーザ共振器内部領域の p 型 GaAs 保護層 509 の表面に、プラズマ CVD 法とフォトリソグラフィー法によって、リッジストライプと直交する方向に幅 $7.60\mu m$ ストライプ状に、誘電体膜である Si_xO_y (x, y は 1 以上) 膜 517 を形成する。前記誘電体膜 517 は、レーザ共振器内部領域の p 型 GaAs 保護層 509 に、イオン化された原子が照射されないために形成されたものである。なお、ストライプのピッチは共振器長と同じ $800\mu m$ とした（図 11 (b)）。

【0182】その後、レーザ共振器端面近傍領域の p 型 GaAs 保護層 509 に、イオン化された原子の照射（イオン照射）を行う。本実施の形態においては、アルゴン (Ar) イオンと酸素 (O) イオンを同時に照射し、イオン照射エネルギーが 10keV の条件下で行った。

【0183】次に、レーザ共振器内部領域の p 型 GaAs 保護層 509 上に形成されている誘電体膜である Si_xO_y (x, y は 1 以上) 膜 517 を除去せずに、アニールを行う。これにより、イオン照射が行われたレーザ共振器端面近傍領域の MQW 活性層（窓領域）514 のバ

(18)

33

ンドギャップエネルギーをレーザ共振器内部領域のMQ W活性層（活性領域）504のバンドギャップエネルギーよりも大きくさせる。この時のアニール条件は、V族原子であるAs原子を含む雰囲気下で、温度700℃、保持時間2時間で行った。

【0184】その後、公知のフォトリソグラフィー技術を用いて、p型GaAs保護層509及び誘電体膜であるSi_xO_y（x, yは1以上）膜517上に[0-11]又は[01-1]方向に伸びたストライプ状のレジストマスク518を形成し、公知のエッチング技術を用いて、p型エッチングストップ層506に到達するよう、レーザ共振器内部領域の誘電体膜であるSi_xO_y（x, yは1以上）膜517とp型GaAs保護層509とp型Ga_yIn_zP中間層508とp型Al_xGa_yIn_zP第3クラッド層507を[0-11]又は[01-1]方向に伸びた約3μm幅のストライプ状のリッジ516に加工する（図11（c））。次に、p型GaAs保護層509及び誘電体膜であるSi_xO_y（x, yは1以上）膜517上に形成されたストライプ状のレジストマスク518を除去し、2回目のMBE法によって、p型Al_xGa_yIn_zP第3クラッド層507、p型Ga_yIn_zP中間層508、p型GaAs保護層509からなるリッジ516の側面をn型Al_xIn_zP（x, zは0以上1以下；以下省略）電流ブロック層510で埋め込む（図11（d））。この時、リッジ516上の誘電体膜であるSi_xO_y（x, yは1以上）膜517の表面には、Al_xIn_zP多結晶520が成長する。

【0185】その後、公知のフォトリソグラフィー技術を用いて、リッジ516の側面に形成されたn型Al_xIn_zP電流ブロック層510、及び、リッジ516のp型GaAs保護層509上に形成されたn型Al_xIn_zP電流ブロック層510の幅40μmのストライプ状のレーザ共振器端面近傍領域にレジストマスク519を形成し、公知のエッチング技術を用いて、レジストマスク519開口部のAl_xIn_zP多結晶520を選択的に除去する（図11（e））。

【0186】レジストマスク519開口部に形成されるAl_xIn_zP膜は、誘電体膜であるSi_xO_y（x, yは1以上）膜517の上に形成されるので、前記の通り、Al_xIn_zP多結晶520となっており、公知のエッチング技術を用いることにより容易に除去することが出来る。また、レジストマスク519開口部のAl_xIn_zP多結晶520を選択的に除去する工程が、電流非注入領域515の形成工程を兼ねるので、工程数の削減が可能となっており、さらに、前記プロセスによって形成された電流非注入領域515は、窓領域514の直上になっているので、位置ずれによる特性不良が低減される。

【0187】次に、レーザ共振器内部領域のp型GaAs保護層509上に形成されている誘電体膜であるSi

34

_xO_y（x, yは1以上）膜517を除去し、その後、n型Al_xIn_zP電流ブロック層510上に形成されたレジストマスク519を除去し、3回目のMBE法でp型GaAsコンタクト層511を形成する（図11（f））。さらに、上面にはp電極512、下面にはn電極513を形成する。

【0188】次に、40μm幅のレーザ共振器端面近傍領域のほぼ中央にスクライブラインを入れて、共振器の長さにバー状に分割し、最後にバーの両側の光出射に反射膜をコーティングし、さらにチップに分割して、長さ800μmの共振器のレーザ共振器端面部に約2μmの窓領域及び電流非注入領域を有した素子が作製される。

【0189】前記の本実施の形態の製造方法によって得られた半導体レーザ素子の特性測定を行った。

【0190】また、比較のために、前記の第4実施の形態の製造方法を用いた半導体レーザ素子の特性測定も同時に行った。

【0191】その結果、本実施の形態及び前記第4実施の形態の半導体レーザ素子のCW50mWでの発振波長（λ）はともに660nm、本実施の形態の半導体レーザ素子のCW50mWでの駆動電圧（V_{op}）は2.0V、前記第4実施の形態の半導体レーザ素子のCW50mWでの駆動電圧（V_{op}）は2.5Vであり、本実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法では、更なる駆動電圧の低電圧化が実現されていることが明らかである。

【0192】本実施の形態においては、II族原子としてBe原子を用いたが、Mg, Znのいずれかであれば、前記と同様の効果が得られる。

【0193】本実施の形態においては、II族原子が含まれているMQW活性層504のウェル層でのBe原子濃度を5×10¹⁷cm⁻³にしているが、3×10¹⁷cm⁻³以上1×10¹⁸cm⁻³以下の範囲であれば、前記と同様の効果が得られる。

【0194】本実施の形態においては、誘電体膜としてSi_xO_y（x, yは1以上）膜を用いたが、Al_xO_y, Si_xN_y, Si_xO_yN_z（x, y, zは1以上）のいずれかであれば、前記と同様の効果が得られる。

【0195】本実施の形態においては、レーザ共振器端面近傍領域のp型GaAs保護層509に、ArイオンとOイオンの同時照射を行っているが、窒素（N）イオン、酸素（O）イオン、アルゴン（Ar）イオンのいずれか一つ又は複数のイオンの照射であれば、効果的にレーザ共振器端面近傍領域の活性層をレーザ共振器内部領域の活性層（活性領域）より実効的に禁制帯幅の広い窓領域を形成できるので、前記と同様の効果が得られる。

【0196】本実施の形態においては、V族原子であるAs原子を含む雰囲気下でアニールを行ったが、V族原子であるN原子を含む雰囲気下で行っても、前記と同様の効果が得られる。本実施の形態においては、アニール

(19)

35

温度を700℃で行ったが、アニール温度が600℃以上750℃以下であれば、 n 型 $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_z\text{P}$ 第1クラッド層503側へのII族原子であるBe原子の拡散を抑制することが可能となり、前記と同様の効果が得られる。

【0197】本実施の形態においては、第1導電型基板上に、第1導電型の第1クラッド層、II族原子を含むバリア層及びII族原子を含むウェル層が交互に積層された多重量子井戸構造をII族原子を含む光ガイド層で挟んでなる活性層、第2導電型の第2クラッド層、第2導電型のエッティングストップ層、第2導電型の第3クラッド層、第2導電型の保護層を順次エピタキシャル成長させ、レーザ共振器端面近傍領域の前記エピタキシャル成長させたウエハ表面上にイオン化された原子を照射し、該ウエハをアニールして、前記活性層のレーザ共振器端面近傍領域のバンドギャップをレーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップより大きくする前記第4実施の形態に記載の半導体レーザ素子の製造方法を用いて検討を行ったが、第1導電型基板上に、第1導電型の第1クラッド層、バリア層及びウェル層が交互に積層された多重量子井戸構造を光ガイド層で挟んでなる活性層、第2導電型の第2クラッド層、第2導電型のエッティングストップ層、第2導電型の第3クラッド層、第2導電型の保護層を順次エピタキシャル成長させ、前記ウエハをアニールし、前記第2導電型の第2クラッド層、第2導電型のエッティングストップ層、第2導電型の第3クラッド層、第2導電型の保護層に存在する第2導電性を示す不純物を活性層へ拡散させ、レーザ共振器端面近傍領域の前記エピタキシャル成長させたウエハ表面上にイオン化された原子を照射し、該ウエハをアニールして、前記活性層のレーザ共振器端面近傍領域のバンドギャップをレーザ共振器内部領域の活性層のバンドギャップより大きくする前記第5実施の形態に記載の半導体レーザ素子の製造方法を用いても、前記と同様の効果が得られる。

【0198】

【発明の効果】以上より明らかなように、第1の発明の半導体レーザ素子は、光出射端面近傍領域における量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長が、内部領域における量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長よりも小さいので、前記光出射端面近傍領域における量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長を前記内部領域のピーク波長よりも小さくする工程において、前記内部領域のクラッド層表面に少量だけ生成された空孔原子が前記内部領域における量子井戸活性層へ拡散することになる。

【0199】ところが、前記量子井戸活性層のウェル層とバリア層の各層にはII族原子が含まれているので、前記拡散した空孔原子は前記量子井戸活性層内に存在するII族原子と補完し合う。そのために、前記内部領域における量子井戸活性層のバンドギャップの変動を抑制し、

36

結晶性の劣化を抑制することができる所以である。

【0200】さらに、前記光出射端面近傍領域における量子井戸活性層においては、レーザ光の吸収が無い窓領域が形成されることによって、前記光出射端面近傍領域における量子井戸活性層でのCODを抑制できる。したがって、高出力時の駆動電流を低減でき、高出力駆動における長期信頼性に優れたCODフリーの半導体レーザ素子を得ることができる。

【0201】また、1実施例の半導体レーザ素子は、前記II族原子を、前記量子井戸活性層を挟む2層のクラッド層に含まれた不純物原子と同一としたので、アニール等による前記クラッド層からの拡散によって、前記量子井戸活性層のウェル層とバリア層の各層に前記II族原子を供給することができる。

【0202】また、1実施例の半導体レーザ素子は、前記ウェル層に含まれるII族原子の濃度を、 $3 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 以上かつ $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 以下としたので、前記II族原子の拡散によって、前記半導体基板側から量子井戸活性層を挟むクラッド層側へのp-n接合位置の移動を阻止できる。したがって、前記量子井戸活性層からのキャリアのオーバーフローを抑制することができ、高出力時における駆動電流を低減できる半導体レーザ素子を得ることができる。

【0203】また、1実施例の半導体レーザ素子は、前記量子井戸活性層を前記半導体基板側から挟む第1のクラッド層にはSi原子を含んでいるので、III族原子位置に存在しやすいII族原子が前記第1のクラッド層側へ拡散することを抑制できる。したがって、高出力時の駆動電流を低減して、高出力駆動における長期信頼性に優れた半導体レーザ素子を得ることができる。

【0204】また、1実施例の発明の半導体レーザ素子は、共振方向に延在して前記量子井戸活性層を前記半導体基板側とは反対側から挟む第2のクラッド層に形成されたリッジ状ストライプ構造の上方における光出射端面近傍領域に、選択的に電流非注入領域が形成されているので、前記窓領域への電流注入を防ぐことができる。したがって、前記窓領域における空孔欠陥の存在によるキャリア損失を抑えることができ、発光に寄与しない無効電流を低減することができる。その結果、高出力時の駆動電流を低減し、高出力駆動における長期信頼性に優れた半導体レーザ素子を得ることができるのである。

【0205】また、1実施例の半導体レーザ素子は、前記II族原子を、亜鉛原子、ベリリュウム原子およびマグネシウム原子の何れか一つとしたので、前記内部領域に生成されて量子井戸活性層へ拡散する空孔原子と前記II族原子と間の補完を効果的に行うことができる。

【0206】また、第2の発明の半導体レーザ素子の製造方法は、第1導電型の半導体基板上に第1導電型クラッド層、II族原子を含むウェル層とバリア層とから成る量子井戸活性層および第2導電型クラッド層を含む積層

(20)

37

構造物を成長させ、前記積層構造物上における光出射端面近傍領域に選択的に誘電体膜を形成し、アニールによって、前記誘電体膜形成領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長を誘電体膜非形成領域下方よりも小さくするので、前記アニールの際に前記内部領域における積層構造物の表面に少量生成されて量子井戸活性層へ拡散する空孔原子が、前記量子井戸活性層に含まれているII族原子と補完し合い、前記内部領域における量子井戸活性層のバンドギャップの変動を抑制することができる。

【0207】その際に、前記アニール前の時点で既にII族原子が含まれている前記量子井戸活性層近傍のII族原子の濃度勾配は小さく、そのため前記アニールによって量子井戸活性層へII族原子が拡散されるのを抑制することができる。したがって、前記内部領域の量子井戸活性層でのII族原子濃度の増加を抑制して、前記内部領域の量子井戸活性層における結晶性劣化を抑制することができる。

【0208】さらに、上述のごとく前記アニールによる量子井戸活性層におけるII族原子濃度の増加がないため、前記アニールによる量子井戸活性層から第1導電型クラッド層側へのII族原子の拡散をも抑制することができ、高出力駆動時における前記量子井戸活性層からのキャリアのオーバーフローを抑制することができる。

【0209】さらに、前記誘電体膜直下における前記積層構造物表面から構成原子が前記誘電体膜中に吸上げられるため、前記積層構造物内部に空孔原子が生成されて、前記空孔原子の量子井戸活性層への拡散を促進することができる。その結果、高出力時の駆動電流を低減でき、高出力駆動時における長期信頼性に優れたCODフリーである半導体レーザ素子を得ることができます。

【0210】また、第3の発明の半導体レーザ素子の製造方法は、第1導電型の半導体基板上に第1導電型クラッド層、ウエル層とバリア層とから成る量子井戸活性層及びII族原子を含む第2導電型クラッド層を含む積層構造物を成長させ、アニールによって前記第2導電型クラッド層のII族原子を前記量子井戸活性層に拡散させ、前記積層構造物上における光出射端面近傍領域に選択的に誘電体膜を形成し、アニールによって、前記誘電体膜形成領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長を誘電体膜非形成領域下方よりも小さくするので、前記アニールの際に前記内部領域における積層構造物の表面に少量生成されて量子井戸活性層へ拡散する空孔原子が、前記量子井戸活性層に含まれているII族原子と補完し合い、前記内部領域における量子井戸活性層のバンドギャップの変動を抑制することができる。

【0211】さらに、2回のアニールを行うことができるので、前記量子井戸活性層近傍領域でのII族原子分布

38

を均一にできる。したがって、前記アニールによる量子井戸活性層へのII族原子の拡散と、それに伴う前記量子井戸活性層から第1導電型クラッド層側へのII族原子の拡散とを抑制でき、高出力駆動時における前記量子井戸活性層からのキャリアのオーバーフローを抑制することができます。

【0212】さらに、前記誘電体膜直下の積層構造物表面から構成原子が誘電体膜中に吸上げられるため、前記積層構造物内部に空孔原子が生成されて、前記空孔原子の量子井戸活性層への拡散を促進することができる。その結果、高出力時の駆動電流を低減でき、高出力駆動時における長期信頼性に優れたCODフリーである半導体レーザ素子を歩留まり良く得るのである。

【0213】さらに、前記第2導電型クラッド層のII族原子を前記量子井戸活性層に拡散させるアニールは、前記積層構造物上における光出射端面近傍領域に誘電体膜を形成する前に行われる。したがって、前記II族原子が量子井戸活性層に拡散されるだけではなく、前記内部領域の量子井戸活性層における結晶性を改善することができる。その結果、高出力駆動における長期信頼性に優れた半導体レーザ素子を得ることができます。

【0214】また、第4の発明の半導体レーザ素子の製造方法は、第1導電型の半導体基板上に第1導電型クラッド層、II族原子を含むウエル層とバリア層とから成る量子井戸活性層および第2導電型クラッド層を含む積層構造物を成長させ、前記積層構造物における光出射端面近傍領域にイオン化された原子を選択的に照射し、アニールによって、前記イオン化原子照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長をイオン化原子非照射領域下方よりも小さくするので、前記アニールの際に前記内部領域における積層構造物の表面に少量生成されて量子井戸活性層へ拡散する空孔原子が、前記量子井戸活性層に含まれているII族原子と補完し合い、前記内部領域における量子井戸活性層のバンドギャップの変動を抑制することができる。

【0215】その際に、前記アニール前の時点で既にII族原子が含まれている前記量子井戸活性層近傍のII族原子の濃度勾配は小さく、そのため前記アニールによって量子井戸活性層へII族原子が拡散されるのを抑制することができる。したがって、前記内部領域の量子井戸活性層でのII族原子濃度の増加を抑制して、前記内部領域の量子井戸活性層における結晶性劣化を抑制することができる。

【0216】さらに、上述のごとく前記アニールによる量子井戸活性層におけるII族原子濃度の増加がないため、前記アニールによる量子井戸活性層から第1導電型クラッド層側へのII族原子の拡散をも抑制することができ、高出力駆動時における前記量子井戸活性層からのキャリアのオーバーフローを抑制することができる。

【0217】さらに、前記積層構造物上における光出射

(21)

39

端面近傍領域にイオン照射を行うことによって積層構造物表面に空孔原子が生成され、アニールによって前記空孔原子の量子井戸活性層への拡散を促進することができる。その結果、高出力時の駆動電流を低減でき、高出力駆動時における長期信頼性に優れたC.O.D.フリーである半導体レーザ素子を歩留まり良く得ることができる。

【0218】また、第5の発明の半導体レーザ素子の製造方法は、第1導電型の半導体基板上に第1導電型クラッド層、ウエル層とバリア層とから成る量子井戸活性層およびII族原子を含む第2導電型クラッド層を含む積層構造物を成長させ、アニールによって前記第2導電型クラッド層のII族原子を前記量子井戸活性層に拡散させ、前記積層構造物における光出射端面近傍領域にイオン化された原子を選択的に照射し、アニールによって、前記イオン化原子照射領域下方における前記量子井戸活性層のフォトルミネッセンス発光光のピーク波長をイオン化原子非照射領域下方よりも小さくするので、前記アニールの際に前記内部領域における積層構造物の表面に少量生成されて量子井戸活性層へ拡散する空孔原子が、前記量子井戸活性層に含まれているII族原子と補完し合い、前記内部領域における量子井戸活性層のバンドギャップの変動を抑制することができる。

【0219】さらに、2回のアニールを行うことができ、前記量子井戸活性層近傍領域でのII族原子分布を均一にできる。したがって、前記アニールによる量子井戸活性層へのII族原子の拡散と、それに伴う前記量子井戸活性層から第1導電型クラッド層側へのII族原子の拡散とを抑制でき、高出力駆動時における前記量子井戸活性層からのキャリアのオーバーフローを抑制することができる。

【0220】さらに、前記積層構造物上における光出射端面近傍領域にイオン照射を行うことによって積層構造物表面に空孔原子が生成され、アニールによって前記空孔原子の量子井戸活性層への拡散を促進することができる。その結果、高出力時の駆動電流を低減でき、高出力駆動時における長期信頼性に優れたC.O.D.フリーである半導体レーザ素子を歩留まり良く得ることができる。

【0221】さらに、前記第2導電型クラッド層のII族原子を前記量子井戸活性層に拡散させるアニールは、前記積層構造物上における光出射端面近傍領域にイオン化された原子を照射して前記空孔原子が生成される前に行われる。したがって、前記II族原子が量子井戸活性層に拡散されるだけではなく、前記内部領域の量子井戸活性層における結晶性を改善することができる。その結果、高出力駆動時における長期信頼性に優れた半導体レーザ素子を得るのである。

【0222】また、1実施例の半導体レーザ素子の製造方法は、前記積層構造物における光出射端面近傍領域に前記イオン化された原子を選択的に照射する際に、マスクとして誘電体膜を用いるので、前記内部領域へのイオ

40

ン化された原子の照射を防止して、前記内部領域の積層構造物表面に空孔原子が生成されるのを効果的に抑制することができる。したがって、前記マスクとしてレジストを用いる場合よりも駆動電圧の低電圧化を図ることができる。

【0223】また、1実施例の半導体レーザ素子の製造方法は、前記イオン化される原子としてアルゴン、酸素、窒素のうちの少なくとも1つを用いるので、前記光出射端面近傍領域における積層構造物表面に空孔原子を効果的に生成でき、前記アニールによる量子井戸活性層への拡散を促進できる。したがって、前記イオン化原子照射領域下方における量子井戸活性層の無秩序化をより促進して、フォトルミネッセンス発光光のピーク波長をイオン化原子非照射領域下方における量子井戸活性層のよりも実効的に小さくできるのである。

【0224】また、1実施例の半導体レーザ素子の製造方法は、前記II族原子を、亜鉛原子、ベリリュウム原子およびマグネシウム原子の何れか一つとしたので、前記内部領域のクラッド層に生成されて量子井戸活性層へ拡散する空孔原子と前記II族原子と間の補完を効果的に行なうことができる。

【0225】前記第2の発明～第5の発明の半導体レーザ素子の製造方法は、更に以下のような工程と組み合せることによって、更なる高性能な半導体レーザ素子を構成することが可能になる。

【0226】すなわち、前記第1導電型の半導体基板上に前記積層構造物を成長させた後、第2導電型のエッチングストップ層、第2導電型の第3のクラッド層、第2導電型の保護層を更に成長させる工程を備えて、前記誘電体膜は前記第2導電型の保護膜の上に形成することによって、ウェハ表面から前記量子井戸活性層までの距離が長くなり、前記内部領域の量子井戸活性層へ拡散する空孔原子量を減少できる。したがって、前記内部領域の量子井戸活性層のバンドギャップの変動を抑制し且つ結晶性劣化を抑制して、高出力駆動における長期信頼性に優れた半導体レーザ素子を歩留まり良く得ることができる。

【0227】また、前記第2導電型のエッチングストップ層、第2導電型の第3のクラッド層、第2導電型の保護層を更に形成する半導体レーザ素子の製造方法において、ウェハをアニールして、前記量子井戸活性層における光出射端面近傍領域のバンドギャップを前記内部領域の量子井戸活性層のバンドギャップより大きくする工程の後に、前記第2導電型のエッチングストップ層、第2導電型の第3のクラッド層、第2導電型の保護層、誘電体膜にリッジ状のストライプを形成する工程と、前記リッジ状ストライプの両側および前記リッジ状ストライプの上側に第1導電型の電流狭窄層(電流ブロック層)を成長させる工程と、前記第1導電型の電流狭窄層を成長させる工程の後、前記リッジ状ストライプ上における前記

(22)

41

内部領域に形成された第1導電型の電流狭窄層を除去して光出射端面近傍領域に電流非注入領域を形成する工程を更に備えることによって、前記ストライプ上に形成される不要層の除去と電流非注入領域の形成とを容易に行うことができ、電流非注入領域の形成による生産工程数の増加や窓領域と電流非注入領域との位置ずれの防止ができる。したがって、高出力時の駆動電流が低減され、高出力駆動における長期信頼性に優れた半導体レーザ素子を歩留まり良く得られることができる。

【0228】また、前記第1導電型の半導体基板をGaAsとし、前記第1導電型クラッド層、量子井戸活性層、第2導電型クラッド層、第2導電型の第3のクラッド層がAl_xGa_yIn_zP(x, y, zは0以上1以下)とすることによって、前記光出射端面近傍領域の前記積層構造物が形成されたウェハ表面上にイオン化された原子を照射する工程と該ウェハをアニールする工程により、前記量子井戸活性層の光出射端面近傍領域のバンドギャップを内部領域の量子井戸活性層のバンドギャップより大きくすることができる。したがって、高出力駆動における長期信頼性に優れた、CODフリーである半導体レーザ素子を得ることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施の形態の半導体レーザ素子の構造を示す断面図である。

【図2】図1に示す半導体レーザ素子の製造方法を説明するための図である。

【図3】図1に示す半導体レーザ素子のRTA法によるアニール前後でのレーザ共振器内部領域のZn原子の深さ方向分布を示す図である。

【図4】従来技術の製造方法を用いた半導体レーザ素子のRTA法によるアニール前後でのレーザ共振器内部領域のZn原子の深さ方向分布を示す図である。

【図5】第2実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法を説明するための図である。

【図6】第2実施の形態の1回目のアニール後及びRTA法による2回目のアニール後でのレーザ共振器内部領域のZn原子の深さ方向分布を示す図である。

【図7】MQW活性層でのZn原子濃度とCW120mWでの駆動電流の関係を示す図である。

【図8】第4実施の形態の半導体レーザ素子の構造を示す断面図である。

【図9】図8に示す半導体レーザ素子の製造方法を説明するための図である。

【図10】第5実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法を説明するための図である。

【図11】第6実施の形態の半導体レーザ素子の製造方法を説明するための図である。

【図12】従来技術の半導体レーザ素子の構造を示す断面図である。

【図13】従来技術の半導体レーザ素子の製造方法を説

42

明するための図である。

【符号の説明】

- 101, 201, 1001 n型GaAs基板
- 301, 401, 501 [011]又は[0-1-1]方向に15度傾斜しているn型GaAs基板
- 302, 402, 502 n型Ga_yIn_zPバッファ層
- 102, 202 n型Al_xGa_yAs第1クラッド層
- 303, 403, 503 n型Al_xGa_yIn_zP第1クラッド層
- 103, 203 バリア層及びウェル層が交互に積層された多重量子井戸構造を光ガイド層で挟んでなり、且つ、前記バリア層、ウェル層、光ガイド層の各層にII族原子であるZn原子が含まれている活性層(MQW活性層)
- 304, 404, 504 バリア層及びウェル層が交互に積層された多重量子井戸構造を光ガイド層で挟んでなり、且つ、前記バリア層、ウェル層、光ガイド層の各層にII族原子であるBe原子が含まれている活性層(MQW活性層)
- 219, 420 MQW活性層
- 104, 204 p型Al_xGa_yAs第2クラッド層
- 305, 405, 505 p型Al_xGa_yIn_zP第2クラッド層
- 105, 205, 306, 406, 506 p型エッチングストップ層
- 106, 206 p型Al_xGa_yAs第3クラッド層
- 307, 407, 507 p型Al_xGa_yIn_zP第3クラッド層
- 308, 408, 508 p型Ga_yIn_zP中間層
- 107, 207, 309, 409, 509 p型GaAs保護層
- 108, 208 n型Al_xGa_yAs電流ブロック層
- 310, 410, 510 n型Al_xIn_zP電流ブロック層
- 520 Al_xIn_zP多結晶
- 109, 209 p型GaAs平坦化層
- 110, 210, 311, 411, 511 p型GaAsコンタクト層
- 111, 211, 312, 412, 512 p型電極
- 112, 212, 313, 413, 513 n型電極
- 113, 213, 314, 414, 514 窓領域
- 114, 214, 315, 415, 515 電流非注入領域
- 115, 215, 316, 416, 516 ストライプ状のリッジ
- 116, 216 レーザ共振器端面近傍領域に形成される誘電体膜
- 517 レーザ共振器内部領域に形成される誘電体膜
- 117, 118, 217, 218, 317, 318, 319, 417, 418, 419, 518, 519 レジ

(23)

43

ストマスク

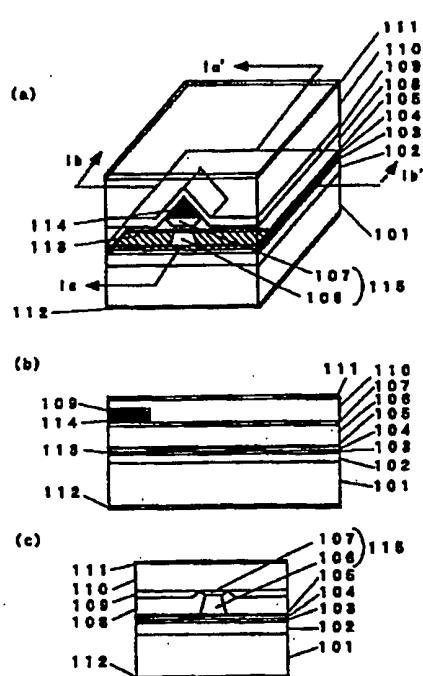
1002 n型AlGaAs下クラッド層

1003 量子井戸活性層

1003a 量子井戸活性層のレーザ発振に寄与する領域

1003b 量子井戸活性層のレーザ共振器端面近傍に形成された窓構造領域

【図1】



(23)

44

1004a p型AlGaAs第1上クラッド層

1004b p型AlGaAs第2上クラッド層

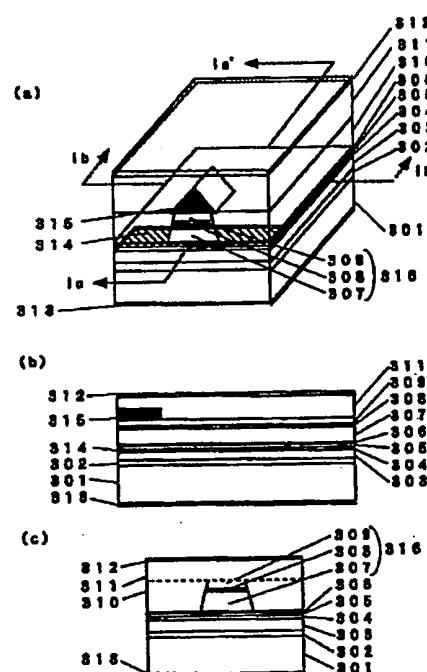
1006 空孔拡散領域

1007 プロトン注入領域

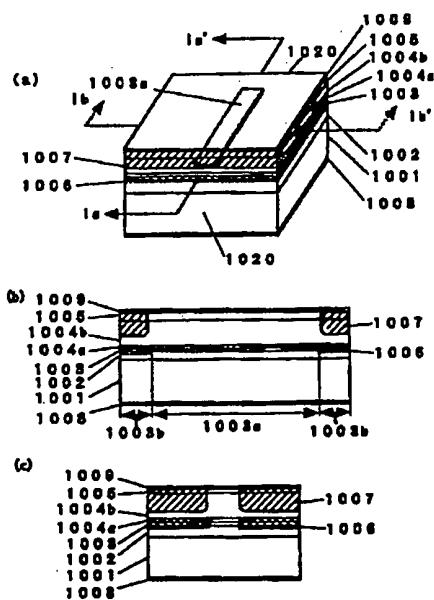
1010 SiO₂膜

1020 レーザ共振器端面

【図8】

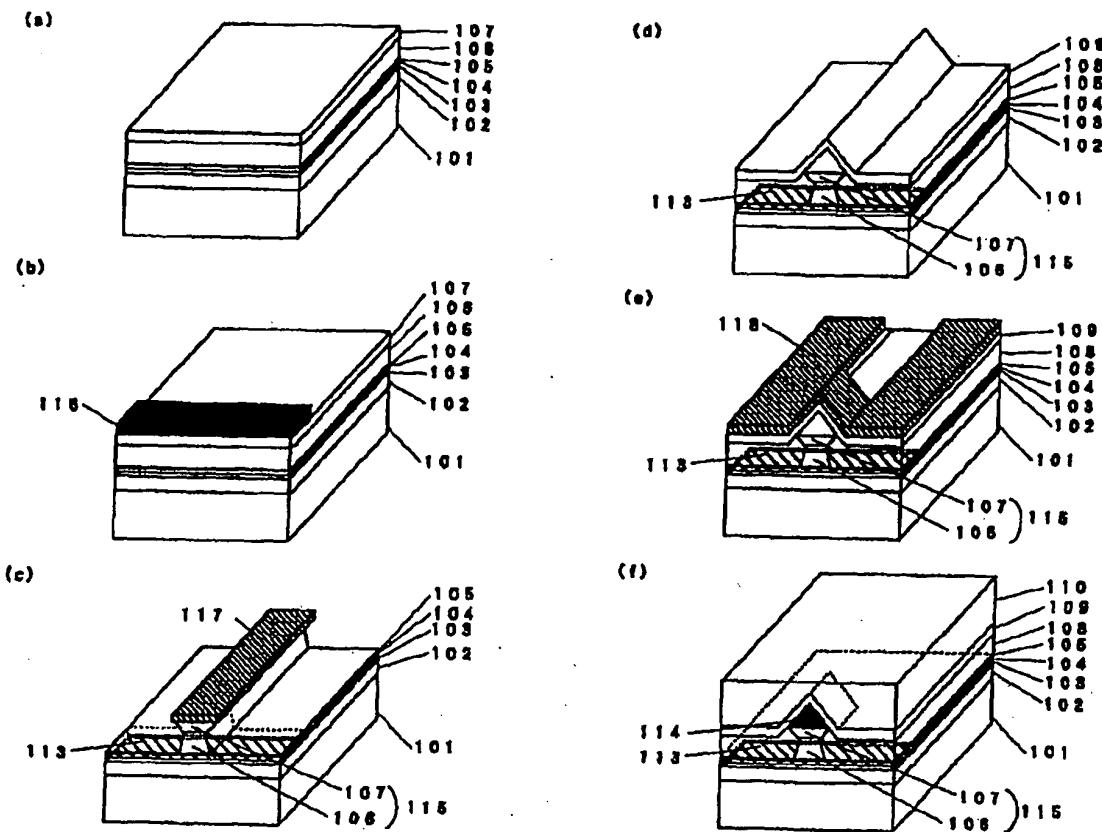


【図12】

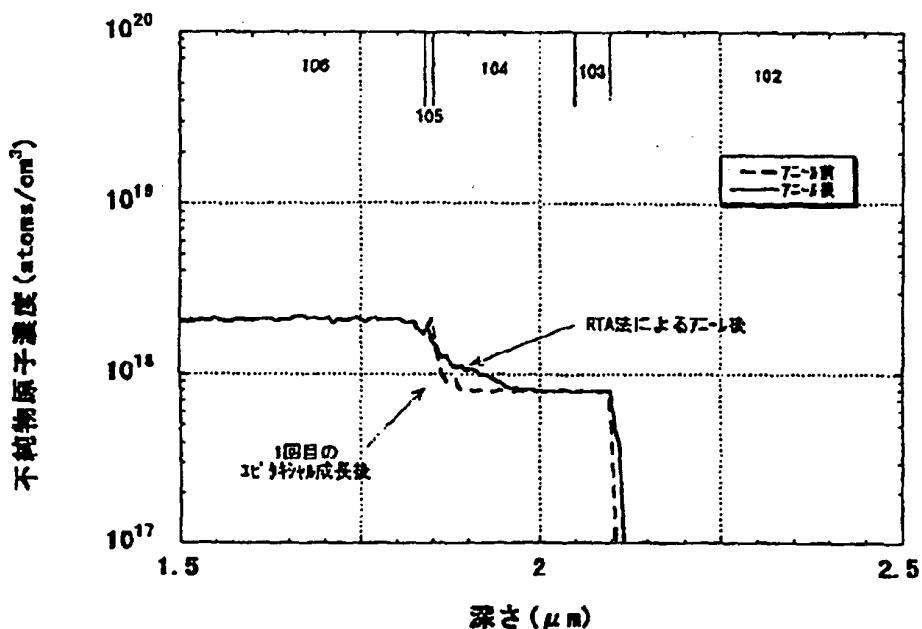


(24)

【図2】

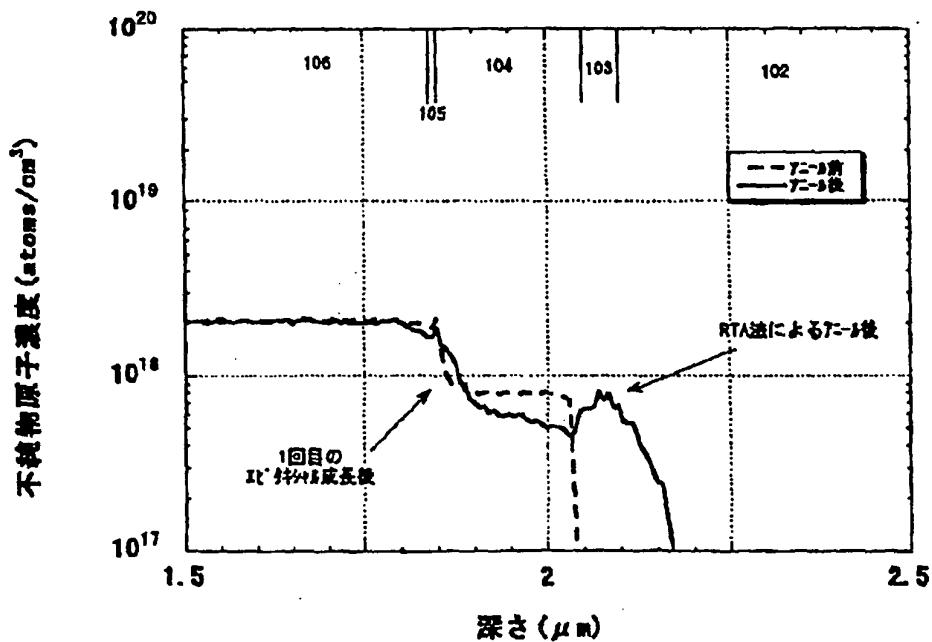


【図3】

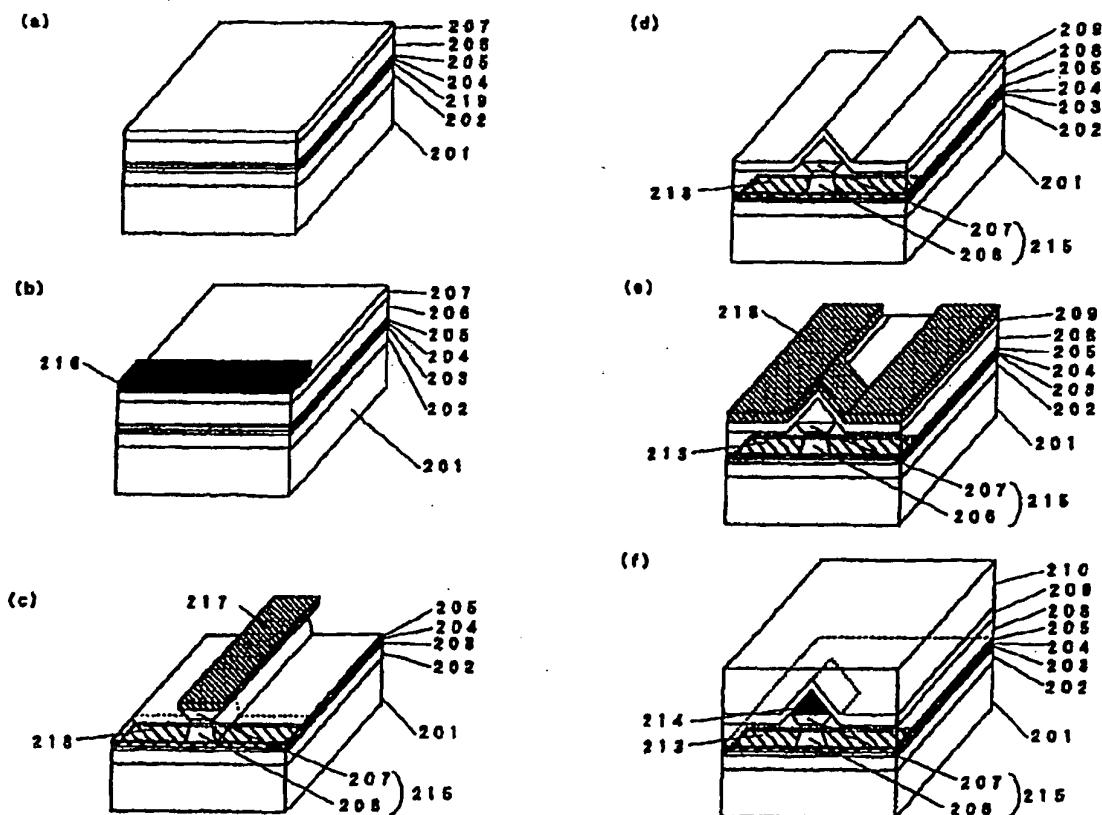


(25)

【図4】

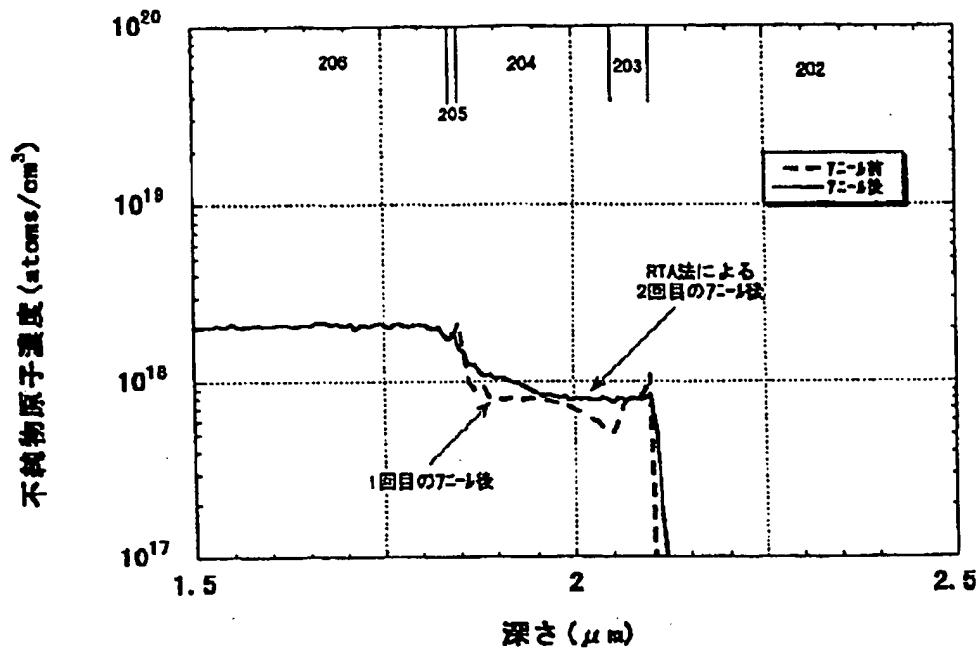


【図5】

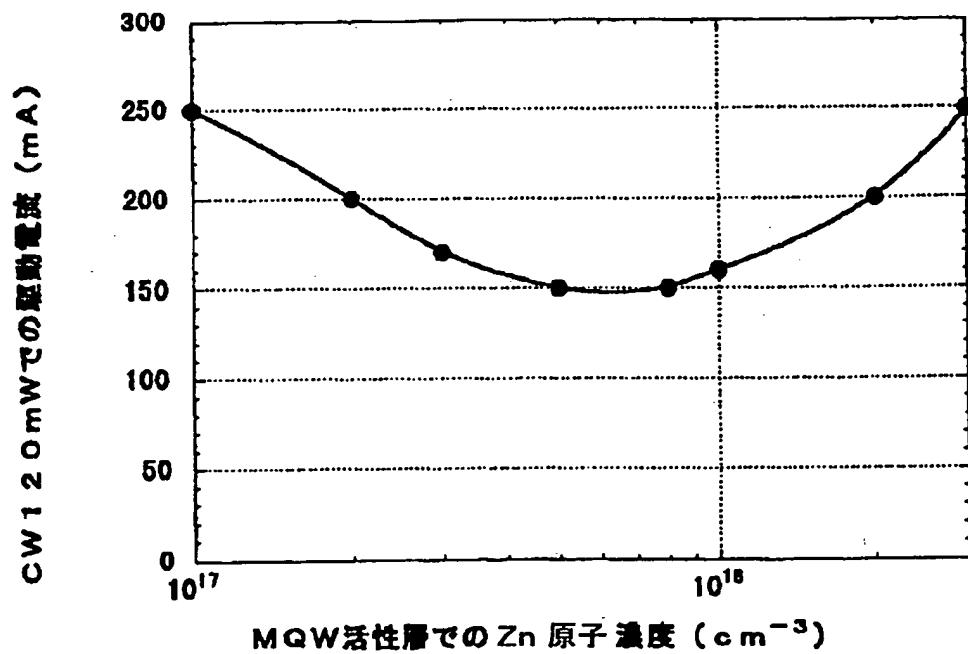


(26)

【図6】

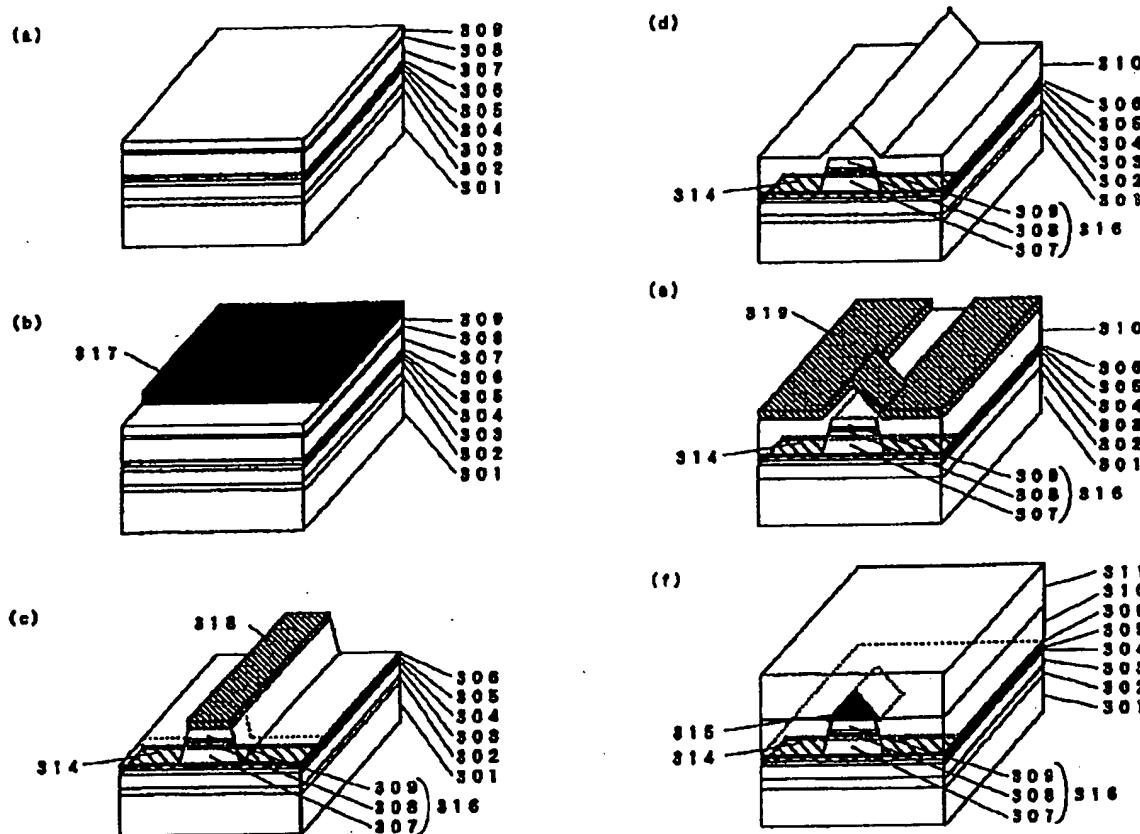


【図7】

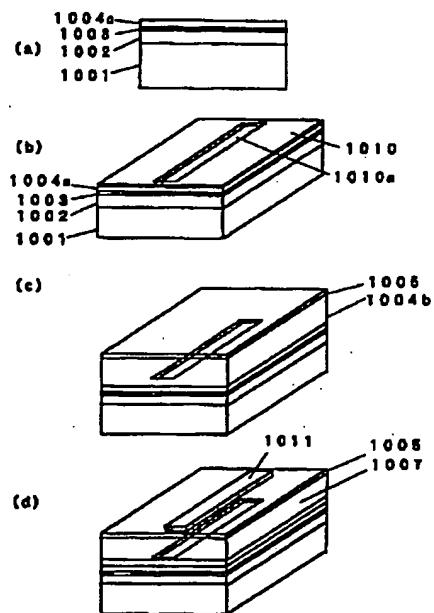


(27)

【図9】

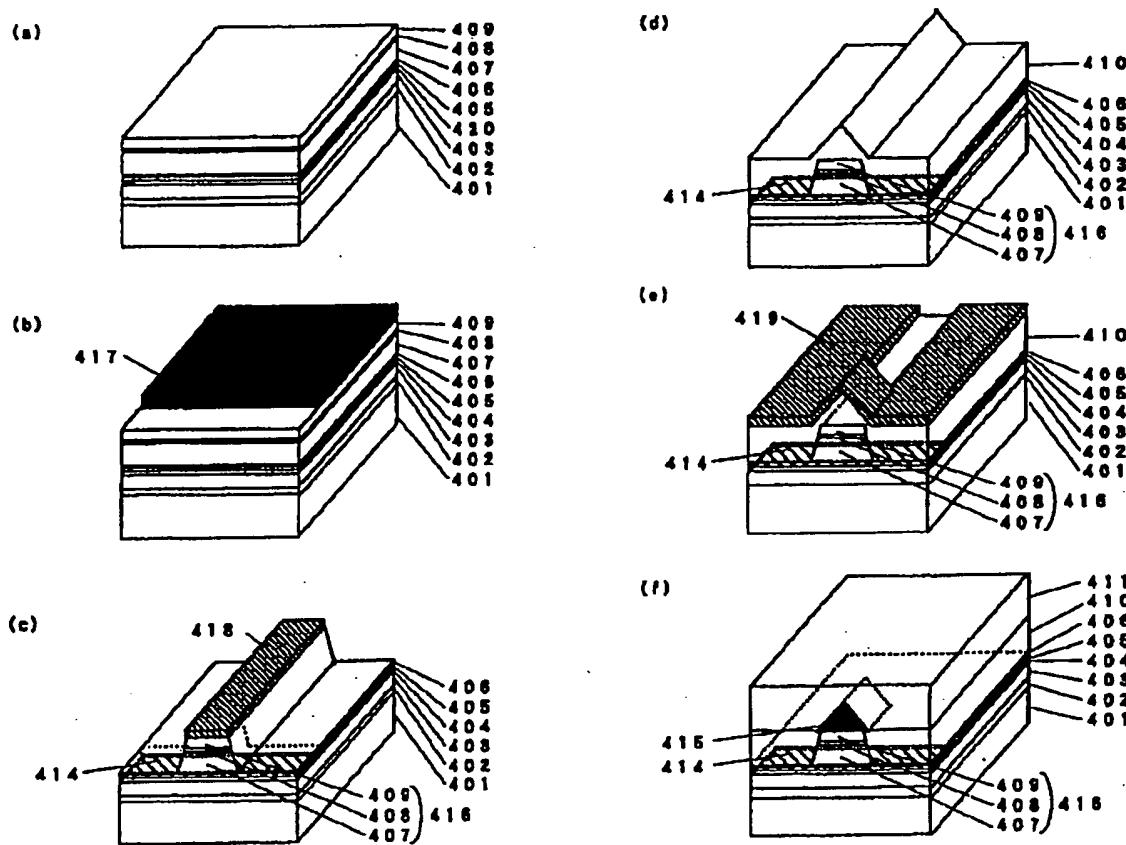


【図13】



(28)

【図10】



(29)

【図11】

